



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

BALANCE HIDROLOGICO DE LA CUENCA DEL RIO OCHOMOGO.

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Enmer Leonel Treminio Mojica

Br. Wilbert Antonio Montenegro Monge

Br. Juan Andrés Narvaez Sandoval

Tutor

Dr. Francisco Efraín Chamorro Blandón

Managua, Diciembre 2016

CONTENIDO

<u>CAPITULO-I: GENERALIDADES</u>	7
<u>1.1. Introducción</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>1.2 Antecedentes</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>1.3 Justificación</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>1.4. Objetivos</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>1.4.1 Objetivo general</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>1.4.2 Objetivos específicos</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>1.5 Localización del área de estudio</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>CAPITULO-II: CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO</u>	8
<u>2.1 Descripción del área de estudio</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>2.1.1 Territorio</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>2.1.2 Población</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>2.1.3. Actividad productiva</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>2.1.4 Clima</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>2.2 Características físicas y morfológicas de la subcuenca</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>2.2.1 características fisiográfica</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>2.2.2 Geología</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>2.2.3 Morfología</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>2.2.4 Contexto Regional</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>2.2.5 Litoestratigrafía de las unidades de las rocas</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>2.2.6 Tectónica</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>2.2.7 Terrenos geológicos en el curso del Río Ochomogo</u> ..	¡Error! Marcador no definido.
<u>2.2.8 Patrón estructural</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>2.2.9 Hidrología</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>2.3 Tipo y usos del suelo</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>2.3.1 Tipos de suelos</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>2.3.2 Uso de los suelos</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>CAPITULO-III: MARCO TEORICO</u>	9
<u>3.1 Caracterización Climática de la Subcuenca</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.1.1 Clasificación Climática de Köppen</u>	¡Error! Marcador no definido.

<u>3.1.2 Precipitación Media Anual</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.1.3 Aspectos Hidrográficos</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.2. Fisiografía y geomorfología de la subcuenca</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.2.1 Área de la subcuenca</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.2.2 Coeficiente de Compacidad (Kc)</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.2.3 Rectángulo equivalente</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.2.4 Factor de Forma</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.2.5 Relieve</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.2.6 Elevaciones</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.2.7 Índice de Compacidad (Índice de Gravelius)</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.2.8 Pendiente media</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.2.9 Curva hipsométrica</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.2.10 Polígonos de Frecuencia Altitudes</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.2.11 Red de Drenaje</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.2.12 Densidad de Drenaje</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.2.13 Longitud del cauce Principal</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.2.14 Numero de escurrimiento</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.2.15 Pendiente media del rio principal</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.2.16 Tiempo de concentración</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.3 Balance hídrico</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.3.1 Objetivos e importancia de los estudios del Balance Hídrico</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.3.2 El ciclo hidrológico y la ecuación de balance hídrico</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>3.3.3 Parámetros que intervienen en el Balance Hídrico</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>CAPITULO-IV: DISEÑO METODOLOGICO</u>	10
<u>4.1 Caracterización climática de la zona de estudio</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>4.2 Caracterización de los parámetros hidrográficos y morfológicos de la subcuenca</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>4.3 Balance hídrico</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>CAPITULO V: CALCULOS Y RESULTADOS</u>	11
<u>5.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA SUBCUENCA</u>	¡Error! Marcador no definido.

<u>5.1.1 Precipitación</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.1.2 Temperatura Media Anual</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.1.3 Humedad Relativa</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.2 Caracterización hidrográfica y morfológica de la subcuenca</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.2.1 Área y perímetro de la cuenca</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.2.2 Longitud del cauce principal y de los ríos de la cuenca</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.2.3 Coeficiente de compacidad (Indice de Gravelius)</u>	- 64 -
<u>5.2.4 Rectángulo equivalente</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.2.5 Factor de forma</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.2.6 Relieve</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.1.6 Elevaciones</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.2.7 Altitud media de la cuenca</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.2.8 Indice de pendiente</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.2.9 Curva hipsométrica</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.2.10 Polígonos de frecuencia de altitudes</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.2.11 Densidad de drenaje</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.2.12 Numero de escurrimiento</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>1.2.13 Pendiente media del rio principal</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.2.14 Indice de alargamiento</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.2.15 Tiempo de concentración</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.3. Balance Hídrico de la subcuenca</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.3.1 La precipitación:</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>65.3.2 Evapotranspiración Potencial</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>5.3.3 Evapotranspiración Real</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>CAPITULO-VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	12
<u>6.1 Conclusiones</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>6.2 Recomendaciones</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>Bibliografía</u>	¡Error! Marcador no definido.

ANEXOS:

Indice de Figuras:

Figura No. 1: Localización Geográfica del área de estudio

Figura No. 2 Comportamiento de la Precipitación Media anual

Figura No. 3: Distribución arial de la precipitación media anual

Figura No. 4: Comportamiento de la Temperatura Media

Figura No 5: humedad relativa media anual

Figura No. 6: Área de la subcuenca Río Ochomogo

Figura No. 7: Relieve Predominante de la Subcuenca

Figura No. 8: Intervalos de Áreas entre Curvas de nivel

Figura No. 9: Ubicación Geográfica de Estaciones Meteorológicas

Indice de Gráficos:

Gráfico No. 1: Precipitación Media Anual

Gráfica No. 2: Temperatura Media, Mínima y Máxima anual

Gráfico No. 3: Humedad Relativa

Gráfico No. 4: Perfil Longitudinal del río del río principal

Gráfico No. 5: Curva Hipsométrica

Gráfico No. 6: Polígonos de frecuencias de altitudes

Indice de Cuadros:

Cuadro No. 1: Precipitación Media anual (Método de Thiessen)

Cuadro No. 2: Precipitación Media Mensuales

Cuadro No. 3: Indice de pendiente, altitudes y áreas

Cuadro No. 4: Estaciones seleccionadas para cálculos estadístico

Cuadro No. 5: Precipitaciones promedio

Cuadro No. 6: Evapotranspiración potencial

Cuadro No. 7: Evapotranspiración Real

Gráfico No. 7: Curvas de parámetros del balance hídrico

Gráfico No. 8: Balance hídrico superficial de la subcuenca Ro Ochomogo

Indice de tablas de anexos:

Temperatura Máxima Absoluta: Estación de Rivas

Precipitación media (mm): Estación de Las Mercedes (Caraz0)

Humedad Relativa Media (%): Estación Ingenio Xavier Guerra Báez

Precipitación media (mm): Estación Ingenio Xavier Guerra Báez

Temperatura Máxima Absoluta (C°): Estación Ingenio Xavier Guerra Báez

Temperatura Media (C°): Estación Ingenio Xavier Guerra Báez

Temperatura Mínima Absoluta (C°): Estación Ingenio Xavier Guerra Báez

Precipitación (mm): Estación de Santa Teresa

Humedad Relativa Media (%): Estación de Rivas

Humedad Relativa Media (%): Estación de Rivas

Precipitación (mm): Estación de Rivas

Temperatura Media (C°): Estación de Rivas

Temperatura Mínima Absoluta (C°): Estación de Rivas

Precipitación (mm): Estación Campos Azules

Humedad Relativa Media (%): Estación Campos Azules

Temperatura Máxima Absoluta (C°): Estación Campos Azules

Temperatura Media (C°): Estación Campos Azules

Temperatura Mínima Absoluta (C°): Estación Campos Azules

Factor de corrección de latitud.

RESUMEN

Se presente el estudio se realiza dentro del contexto de trabajo de tesis para optar al título de Ingeniero Civil. La finalidad del mismo fue el estimar el Balance Hidrológico en la subcuenca del Río Ochomogo para contabilizar los a portes, salidas para determinar la oferta y demanda de la subcuenca.

Conforme los criterios integrales del ciclo hidrológico, su incidencia en el medio físico, la población residente en la cuenca, los estudios climáticos e hidrológicos deben ser interrelacionados con la geología, hidrogeología e hidroquímica, con el fin de profundizar en la caracterización de los recursos hídricos superficiales, para conocer los potenciales y disponibilidad de los recursos de agua.

El estudio del balance de agua permite contabilizar el volumen de escurrimiento en la cuenca, en base a los resultados se deben plantear nuevas estrategias de planificación del recurso hídrico; más aún cuando existen periodos prologados de sequía en la zona de impacto del cambio climático a nivel regional.

Los balances hídricos a nivel mensual en Nicaragua son muy poco estudiados, con este trabajo se pretendió desarrollar una metodología para estimar los volúmenes de agua en la cuenca hidrográfica del río Ochomogo, que dispone de poca información hidrométrica (mediciones de caudales); Además que sirva de consulta a los estudiantes e ingenieros para estudios posteriores.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción

Las demandas del recurso agua a la que está sometido el mundo para satisfacer las actividades de la vida del ser humano, hacen que se cuantifique y valore este recurso, cada vez más agotado, es por tal razón que se definen procesos de gestión integrada, manejo y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales: agua, suelo, y los ecosistemas vinculantes, con el fin de incrementar el bienestar social y económico de la población de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales y la de su propia subsistencia.

Con la realización del balance hidrológico del río Ochomogo, se pretende evaluar la variación espacial y temporal de las reservas de agua de esta subcuenca. Esto debe incluir las entradas y salidas tanto superficiales como subterráneas que nos permite realizar un análisis de las condiciones reales del recurso hídrico en la subcuenca.

El balance de agua es un elemento integrador en la política de planificación de los recursos hídricos de una zona específica, ya que a partir de esta se puede destinar sus distribución en los múltiples usos del agua (riego, abastecimiento de agua, potenciales hidroeléctricos, etc.).

La evaluación del recurso hídrico, su disponibilidad, aprovechamiento sostenible en el tiempo y forma para atender las diversas demandas actuales y futuras así como las implicaciones ambientales de éstos, son elementos necesarios para elaborar los instrumentos de la gestión y la planificación territorial del Recurso Hídrico en la Subcuenca del Río Ochomogo.

Para los análisis del comportamiento de las variables climática y demás parámetros se ha basado en los registros del período de 2000-2014.

1.2 Antecedentes

En la subcuenca existe estudio hidrológico y calidad de agua llevado a cabo por la Universidad Autónoma de Nicaragua, referido a evaluar la disponibilidad y la calidad del Agua.

Para esta investigación se hizo uso de información técnica y documentos orientados al ordenamiento territorial de la subcuenca, elaborados por instituciones públicas y de investigación.

Se consultó la información de los estudios realizados por el Instituto Nacional de Estudio Territorial (INETER) de Mapificación hidrogeológica de la Región del Pacífico de Nicaragua, los inventarios de pozos antecedentes, la red piezométrica nacional, hidrométrica y meteorológica, con mención del área del acuífero Nanadaime - Rivas.

1.3 Justificación

Es necesario determinar el estado actual de la oferta y disponibilidad del recurso hídrico, así como la presión por la demanda del mismo, teniendo en cuenta su distribución espacial y temporal, que permita establecer lineamientos a seguir para su protección, y que sirva de base a los usuarios del recurso y planificadores, para considerar su uso y disponibilidad en proyectos actuales y futuros.

Si al proceso de variabilidad climática, se le incorpora el tema de Cambio Climático, observamos que el comportamiento espacial y temporal de la precipitación, temperatura y caudal, vienen sufriendo alteración en su régimen que hacen prever la probabilidad de ocurrencias de eventos extremos asociados a una deficiencia o exceso de agua. En ambos casos, es importante cuantificar el recurso hídrico superficial, para buscar los equilibrios entre las necesidades antrópica y del ecosistema natural.

La cuantificación de los diferentes parámetros hidrológicos de la subcuenca permite conocer la importancia y valor de cada uno de ellos en el balance de entrada y salida de agua al acuífero (Recarga y Descarga).

La investigación servirá como una herramienta para el manejo y la planificación del uso del recurso hídrico con la finalidad de asegurar la conservación, protección y manejo del acuífero de la subcuenca del río Ochomogo; teniendo en cuenta las condiciones económicas y productivas de la zona de estudio, así como también el estado de los recursos naturales de la misma.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Realizar el Balance hidrológico de la subcuenca del Río Ochomogo, con el fin de cuantificar la disponibilidad del recurso hídrico, que sirva para la planificación del uso racional del agua.

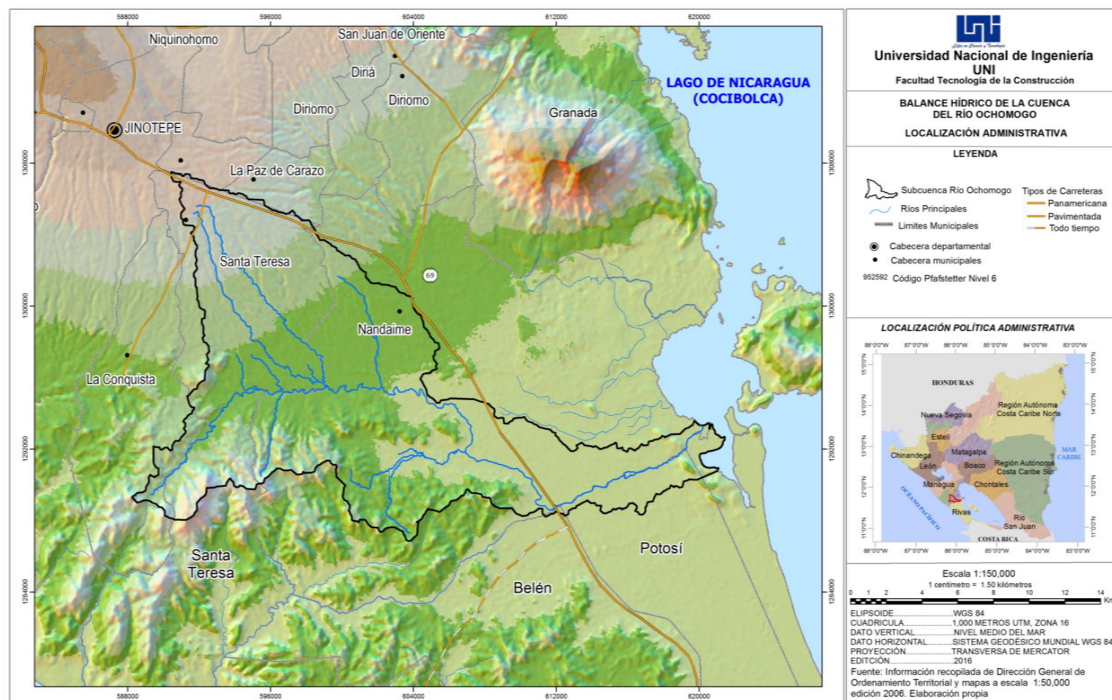
1.4.2 Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar los parámetros climáticos de la zona de estudio.
- ✓ Caracterizar los parámetros hidrográficos y morfológicos de la subcuenca.
- ✓ Calcular el Balance Hídrico superficial de la subcuenca del rio Ochomogo.

1.5 Localización del área de estudio

La subcuenca del río Ochomogo tiene una extensión territorial de 267.00 km², es una unidad tributaria de la cuenca hidrográfica del Río San Juan de Nicaragua con código no. 69 de acuerdo a la codificación que rige para el país, por la nueva delimitación de cuencas hidrográficas mediante la metodología de Pfafstetter tiene el código 952592 en nivel 6. Desembocan sus aguas hacia el Lago Cocibolca, se sitúa al sureste de territorio nacional. Se encuentra localizada entre las coordenadas geográficas de Latitud 11° 38' 15'' y 11° 49' 36.7'' Norte y Longitud 85° 53' 05'' y 86° 11' 29''.

Figura No. 1: Localización Geográfica del área de estudio



Fuente: Elaboración Propia

Dentro de la subcuenca se encuentran localizados los municipios de los departamentos de Carazo, Granada y Rivas, que puede ser constatado en el siguiente cuadro.

Distribución de la subcuenca por municipio y departamento

Departamentos	Municipios	Áreas en Km ² y porcentajes (%)	
		de municipios en la subcuenca	
Rivas	Belén	0.22	0.08%
	Buenos Aires	2.78	1.04%
	Potosí	10.52	3.94%
Carazo	La Conquista	6.80	2.55%
	La Paz de Carazo	0.38	0.14%
	Santa Teresa	96.86	36.28%
	El Rosario	0.20	0.08%
Granada	Nandaime	149.21	55.89%
	Total	266.98	100%

Fuente: INETER

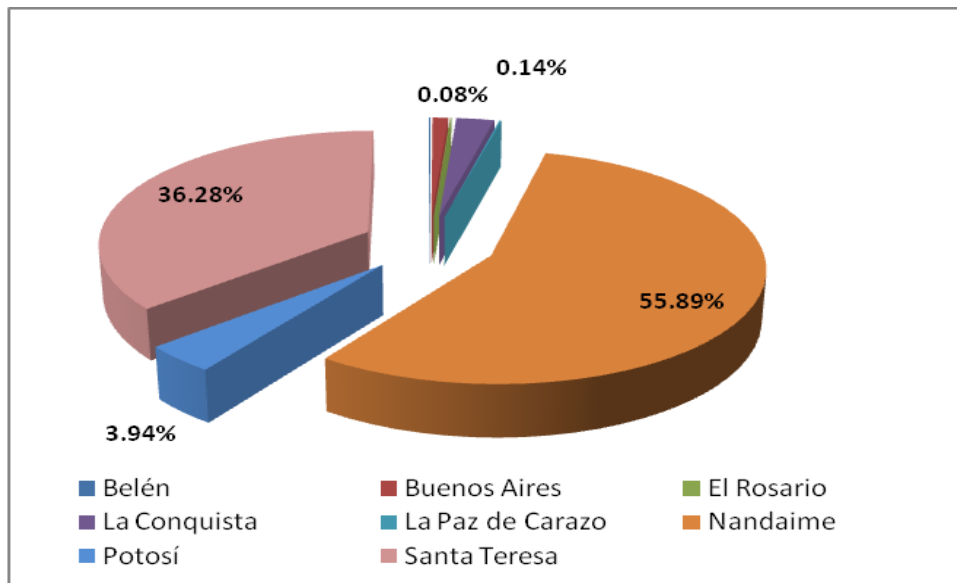
En el departamento de Carazo se encuentran los municipios de Santa Teresa con 96.86 km² representa el 36.28 %, La Conquista que abarca una área de 6.80 km² representa el 2.5%, La Paz de Carazo ocupa un área reducida de 0.38 km² representa el 0.14 % del área total de la cuenca, y El Rosario ocupa un área muy reducida con 0.20 km² representa 0.08 % del área total de la cuenca.

Por el departamento de Granada, está el municipio de Nandaime que tiene un área de influencia dentro de la cuenca de 149.21km², representando el 55.89 % de la subcuenca.

Finalmente está el departamento de Rivas, se encuentran los municipios Potosí con 10.52 km² significa el 3.94 %, Buenos Aires 2.78 km² es el 1.04% y finalmente se identifica el municipio de Belén que tiene un área muy reducida en la cuenca de 0.22 km² es el 0.08 % del área total de la cuenca.

Individualmente estos municipios se distribuyen administrativamente como se describe en la figura de abajo, observándose que el municipio de Nandaime representa el 55.89% de área dentro de la cuenca, seguido de Santa Teresa con 36.28 %, estando concentrados en estos municipios el 92.17 % del área total de la cuenca.

Distribución de la subcuenca por municipio y departamento



Fuente: INETER

CAPITULO II: CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO

2.1 Descripción del área de estudio

2.1.1 Territorio

La subcuenca del Río Ochomogo pertenece a la cuenca de los grandes Lagos Nicaragüenses, (cuenca No. 69) que es una de las más importantes del país por su extensión y potencial hidrológico. La subcuenca tiene una extensión de 271.3 Km², geográficamente pertenece a los departamentos de Rivas, Granada y Carazo. En ella se localizan municipios importantes como Nandaime (Granada) y Santa Teresa (Carazo).

2.1.2 Población

La subcuenca del Río Ochomogo según las cifras oficiales del Censo Agropecuario (CENAGRO, 2001), tiene una población total para el área de estudio de 62,149 habitantes; de ellos 25,939 en área urbana y 36,210 en el área rural. Según INEC (1995), el municipio de Nandaime contaba en esa fecha con una población compuesta por 37,714 habitantes y el municipio de Santa Teresa, con una población de 17.555 habitantes. Para el 2004 en el municipio de Nandaime se cuenta con una población de 41,247 habitantes con una densidad poblacional aproximada de 95 hab/km², mientras el municipio de Santa Teresa tiene una población de 20,902 habitantes con una densidad poblacional aproximada de 94 hab/km². La Subcuenca del Río Ochomogo está compuesta por 84 comunidades distribuidas entre el sector rural y en el sector urbano (Fuente: Alcaldía, 2004)

2.1.3. Actividad productiva

La principal actividad económica en la región es la agricultura (MAG-FOR, 2002), actividad que practican alrededor de 2,000 productores; De éstos, alrededor de 1,000 reciben asistencia técnica por parte del Instituto de Tecnología Agropecuaria (Fuente: INTA, 2004). Además un sector de éstos se encuentra organizados en 15 cooperativas agrícolas y ganaderas.

Las actividades de comercio y servicios, ocupan el segundo lugar en importancia económica generando la mayor cantidad de puestos de trabajo en el área urbana de Nandaime y Santa Teresa (Mataderos, Talleres y Aserríos).

Los Municipios de Nandaime y Santa Teresa cuentan con algunas infraestructuras de servicios básicos como agua potable, energía eléctrica, iluminación pública, recolección de basura, letrinas y teléfonos.

En el área se cuenta con aproximadamente 5,678 viviendas, de las cuales el 39.58 % se encuentran en el área urbana y un 60.42 % en el área rural, con un promedio de 5 a 6 habitantes por vivienda. En el área rural predominan las casas con piso de tierra y paredes de madera y en el área urbana, las de paredes de mampostería, ladrillo y techo de teja de barro.

2.1.4 Clima

De acuerdo a la clasificación de Koppen (1928) modificado, el clima del área de estudio se conoce como de Sabana Tropical (Aw), caracterizándose por presentar una marcada época seca entre Noviembre y Abril con precipitaciones moderadas y una marcada época lluviosa entre Mayo a Octubre, con una temperatura promedio 27.8 °C (INETER, 2004).

La frecuencia media anual de la dirección del viento es del este. En la época lluviosa, se observa que además de los vientos del este, también ocurren vientos del suroeste, en Mayo y Junio. En el período de Septiembre a Octubre se registran las mínimas frecuencias porcentuales con dirección este.

Se distinguen dos épocas bien marcadas una seca y una lluviosa. La época lluviosa comprende los meses de Mayo a Octubre en ella se acumula el 91.1% de la precipitación equivalente a 1385 mm. En la época seca de (Noviembre - Abril), se acumula el 8.9 % del total anual equivalente a 116.1 mm. Durante los meses de Julio y Agosto, disminuye la precipitación en el período conocido como canícula; el mes más lluvioso es Octubre, en el cual se registra un acumulado promedio mensual de 320.7 mm.

La temperatura media de la subcuenca del Río Ochomogo es de 26.8 °C las más elevadas se registran en los meses de Abril y Mayo, con valores que varían entre 28.3 °C, hasta 30.3 °C en el sector colindante con el Lago de Nicaragua. Las temperaturas medias más bajas ocurren entre Octubre y Enero y varían entre 26.1°C y 26.2 °C.

La evaporación media de la subcuenca del Río Ochomogo es de 206.33 mm. Las evaporaciones más elevadas se registran en los meses de Marzo y Abril, mientras que las evaporaciones medias más bajas ocurren entre Septiembre y Octubre.

En el área de estudio la evapotranspiración promedio anual es de 1798 mm, registrando los mayores valores mensuales entre Marzo y Mayo y los menores en los meses de Noviembre y Diciembre, debido al descenso de la temperatura media mensual.

La humedad relativa media de la subcuenca del Río Ochomogo es de 78 % y la más elevada se registra entre Junio a Octubre, siendo más baja entre Noviembre a Mayo.

2.2 Características físicas y morfológicas de la subcuenca

2.2.1 características fisiográfica

Las características fisiográficas de la subcuenca del Río Ochomogo influyen directamente en su escurrimiento y constituyen además una base indispensable en la generación de datos hidrológicos de la cuenca. El área tiene una elevación media con dirección norte – sur desde más de 120 m.s.n.m en la parte norte y a más de 70 m.s.n.m en su salida sur. El área de drenaje es de 282.8 km² y la extensión de la red de drenaje es de 10 km, linealmente desde su punto más alto hasta su desembocadura. La red de drenaje del área de estudio es dendrítica atendiendo al tipo de roca por donde circulan, la barrera rocosa circunda el valle conjuntamente con varias afloraciones aisladas dentro del mismo. El único río de importancia es el Ochomogo, que sirve de límite departamental con el

Departamento de Rivas, se distinguen algunos tributarios importantes como: La Pintada, Medina, La Calera, Las Mercedes, El Dorado y Nandarola.

2.2.2 Geología

La subcuenca del Río Ochomogo es de 271.3 km² la cual se ubica entre la Fosa Meso Americana (150 km mar adentro en el Océano Pacífico), que marca la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa del Caribe, y la Costa del Pacífico hasta su transición hacia la porción central del país.

2.2.3 Morfología

El área de la subcuenca del Río Ochomogo presenta tres unidades morfológicas bien diferenciadas, a saber de norte a sur-este:

1. La porción suroeste de la Meseta de los Pueblos, con elevaciones en la divisoria de aguas de 200 m.s.n.m en el área del municipio de Santa Teresa con un área de 120 km².
2. Las Serranías del Pacífico de relieve irregular y escarpado con elevaciones entre los 100 y 250 m.s.n.m abarca un área de 70 km² en el sentido longitudinal al litoral del Pacífico.
3. La franja entre la Meseta de Carazo y las Serranías del Pacífico hasta el Lago de Nicaragua, con elevaciones menores a los 100 m.s.n.m, abarcan un área aproximada de 90 km².

La geología de la cuenca refleja una complejidad estratigráfica y estructural controlada por los esfuerzos de la subducción, características impresas en las rocas y la evolución tectónica del área.

2.2.4 Contexto Regional

El Río Ochomogo atraviesa desde el nacimiento, las serranías del Pacífico, hasta la desembocadura en el lago de Nicaragua, dos diferentes terrenos geológicos propios de la parte oeste central de Nicaragua, a saber: el terreno del Pacífico de

rocas marinas sedimentarias del Terciario (hasta 90 millones de años atrás) y el terreno de la Depresión de Nicaragua de rocas volcánicas Cuaternarias.

2.2.5 Litoestratigrafía de las unidades de las rocas

Las unidades de rocas presentes en el área son las formaciones sedimentarias Rivas y Brito compuestas de materiales marinos del Cretácico Tardío al Terciario respectivamente, la Formación Las Sierras de materiales volcánicos Cuaternarios (Plio-Pleistoceno), sedimentos residuales, coluviales y aluviales del Cuaternario, los que se dan especialmente en los cauces y partes bajas de la cuenca y en los sedimentos fluvio lacustres a la orilla del Lago de Nicaragua, finalmente sobrepuestas se encuentran coladas lávicas y piroclastos máficos a félsicos del Holoceno del frente volcánico o cadena volcánica actual.

De más antiguas a recientes regionalmente ocurren las siguientes formaciones:

Formación Rivas: del Cretácico Tardío al Terciario (90 – 70 millones de años atrás) representa las unidades de rocas más antiguas del área. Los sedimentos de esta formación forman una faja de 63 km de largo y hasta 13 km de ancho, que se extiende paralelamente a la Costa del Pacífico. Esta representa una secuencia potente de más de 2000 metros de pizarras, limolitas y areniscas tobáceas intercalados con horizontes de conglomerados.

En la parte inferior de la formación, entre los sedimentos carbonatados-terrágenos ocurren rocas volcánicas, principalmente lavas y tobas andesíticas, aglomerados, brechas andesíticas y lentes conglomerádicos.

Formación Brito: Del Terciario Medio (Eoceno 58 a 36 millones de años atrás), es la de mayor extensión, abarca toda la porción sur y centro sur de la cuenca del Río Ochomogo, se trata principalmente de areniscas, tobas y en menor proporción calizas. El Río nace en el cerro La Pitilla, caracterizado geológicamente por un intrusivo félsico micro diorítico intensamente fracturado. En la parte superior de la sección dominan tobas macizas y brechas volcánicas, en la parte inferior de la Formación Brito se observan coladas de lavas andesita–basálticas. El espesor medio de la formación es de 2400 m, en lo general la formación presenta una

buena porosidad, a excepción de las zonas de intenso fracturamiento con permeabilidad secundaria.

Formación Las Sierras: del Plio-Pleistoceno (más de 1 millón a 25,000 años atrás), abarca el 40% del área de la subcuenca en el noreste se constituye de tobas aglomeráticas basálticas en un ambiente de agua somera dentro del terreno de La Depresión de Nicaragua. Estos materiales volcánicos de 200 a 600 m de potencia provinieron de extintos centros volcánicos previos a la cadena volcánica actual.

La parte superior de la formación comprende además piroclásticos gruesos en parte meteorizados y con cierta compactación de lapilli, pómez, tobas cenizas blancas y tobas aglomeráticas. La formación presenta una alta permeabilidad primaria y secundaria producto del intenso fracturamiento. La subcuenca está rellena por materiales aluviales, coloidales y fluviales (Areniscas, lutitas, areniscas calcáreas, capas delgadas de calizas, margas, depósitos de tobas y aglomerados, piroclastos en parte meteorizados y con cierta compactación de lapilli, pómez, tobas líticas blancas y tobas aglomeráticas). Los depósitos residuales, coluviales y aluviales del Cuaternario al Reciente varían en espesores por los 50 m, de acuerdo al Proyecto de Desarrollo de Agricultura Bajo Riego Nandaime-Rivas (Tahal Consulting, 1977).

2.2.6 Tectónica

El ambiente tectónico del área está dado por esfuerzos provenientes del proceso de subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa del Caribe, esto se refleja en tres dominios geológicos que controlan y moldean el curso del río Ochomogo:

- ✓ Dominio de compresión en el ambiente del terreno del Pacífico de Rocas Marinas Sedimentarias.
- ✓ Dominio de extensión en el ambiente del terreno de La Depresión de Nicaragua de rocas volcánicas Cuaternarias.

- ✓ Dominio de compresión en una parte del terreno de La Depresión de Nicaragua producto de la segmentación de la actual cadena volcánica del Cuaternario temprano al presente formando el alto estructural de La Meseta de Los Pueblos, donde aflora casi de forma exclusiva la Cuaternaria Formación Las Sierras.

2.2.7 Terrenos geológicos en el curso del Río Ochomogo

Los terrenos geológicos en los 45 km de recorrido del Río Ochomogo, desde su inicio en el cerro La Pitilla, Municipio de Santa Teresa, Carazo hasta el Lago de Nicaragua frente a la isla Zapatera en el municipio de Nandaime, Granada, son: El terreno del Pacífico, está dominado por la cresta de las Serranías del Pacífico, se corresponde al eje de un anticlinal de dirección NW, producto de los esfuerzos de compresión de la placa en subducción del Terciario Medio al Presente.

En el terreno de La Depresión de Nicaragua, lo más conspicuo es una parte de la cadena volcánica Cuaternaria representada por el volcán Mombacho, el volcán Isla Zapatera y otras estructuras menores como Las Lomas del Brujo. Esta secuencia de estructuras volcánicas jóvenes de flujos de lavas, tuvo como resultado la formación de una barrera natural de la cuenca por su lado noreste.

La Meseta de los Pueblos, cuyo basamento lo conforman unidades de rocas de la Formación Las Sierras, es una estructura levantada del terreno de La Depresión de Nicaragua, cuyo piedemonte se extiende hasta el valle de Nandaime. La actual conformación de la subcuenca del Río Ochomogo posiblemente está relacionado a las estribaciones de este alto estructural.

2.2.8 Patrón estructural

La existencia de dos tipos de fallamientos controla o perturban el drenaje del río Ochomogo y sus afluentes.

1. El fallamiento NE, de naturaleza de fallas normales que reflejan la dirección NE de la subducción, este sirve de canal o cauce natural en el trecho de 7 km entre el cerro La Pitilla.

2. El fallamiento NW, de naturaleza de fallas de deslizamiento horizontal que reflejan la dirección NW del contacto entre las placas, las fallas de este tipo controlan el patrón de drenaje subparalelo en el dominio de La Meseta

De Los Pueblos, además dislocan el curso principal del Río Ochomogo y sus afluentes, dando una forma sinuosa.

El área de estudio está situada en las proximidades de algunas de las estructuras geológicas más sobresalientes de Nicaragua. Ocupa parte de la Depresión Nicaragua, cerca de su falla oriental principal. Sus bordes están representados por estructuras levantadas, en partes falladas y en parte inclinada hacia el valle.

La estructura geológica más antigua es el anticlinorio de Rivas, de edad Cretácico Tardío - Terciaria. Esta estructura es un remanente de un relieve geológico más antiguo, anterior a la creación de la depresión Nicaragüense. Una segunda estructura levantada es la cordillera volcánica cuaternaria joven formada por el volcán Mombacho y la isla Zapatera, perteneciente a la prolongación sur de la cordillera de los Maribios.

Esta línea de volcanes, combinada con flujos de lavas, tuvo como resultado la formación de una barrera natural en el lado noreste del área estudiada.

Una tercera estructura que bordea el área es la Meseta de los Pueblos. Esta meseta elevada, que se extiende al este – noroeste hasta el valle de Nandaime, se levanta casi horizontalmente, sepultando al anticlinal de Rivas. La subcuenca del Río Ochomogo posiblemente está relacionado al borde sudeste de esta estructura, truncada por el sistema de fallamiento, principalmente de la Depresión de Nicaragua, una estructura tectónica de Graben.

2.2.9 Hidrología

El Río Ochomogo es el principal curso de agua en esta subcuenca, tiene una longitud de 43 km desde su nacimiento en el Cerro La Pitilla (Municipio de Santa Teresa), hasta su desembocadura frente a la Isla Zapatera en el Lago de Nicaragua. El lecho del Río es profundo, ancho y no causa problemas de

inundación durante la época lluviosa cuando se presentan crecidas significativas con aumentos en la velocidad de las corrientes, por el contrario el flujo es lento durante la época seca.

Los principales ríos que drenan al Río Ochomogo son los ríos: Los Gómez, La Pintada, el Medina, las Mercedes, el Dorado y el Nandarola, cada uno con numerosos tributarios

El sistema hidrológico de la subcuenca del Río Ochomogo está referenciado por cinco microcuencas y el curso principal del Río Ochomogo:

- ✓ Microcuenca del río Los Gómez con un área de drenaje de 21.5 km², ubicada en la parte alta, con una dirección noreste, drena a la parte central de la subcuenca con bastante sinuosidad y afloramiento en su curso, lecho profundo y entre sus tributarios principales se destacan el río Los Gómez.
- ✓ Microcuenca La Pintada con un área de 29.4 km² con una dirección sureste y Noreste con respecto al Río Ochomogo presenta sinuosidad y afloramiento en su curso, lecho profundo y entre sus ríos son: Barrio Nuevo, La Bolsa, El Guanacaste, El Negro y La pintada.
- ✓ Microcuenca El Medina con un área de 45.5 km² con una dirección sureste, respecto al Río Ochomogo, recibe aportes por medio de sus tributarios del sector norte de la subcuenca presenta sinuosidad en su trayecto y sus principales afluentes lo constituyen los siguientes ríos: El Nacascolo, La Calera, El Escondido, Las Cuevas y El Medina.
- ✓ Microcuenca Las Mercedes con un área de 56.8 km² Ubicada en la parte central con una dirección sureste, cambiando a este-sureste con respecto al Río Ochomogo, presenta sinuosidad en su trayecto y entre sus principales afluentes están: El Chiquito, La Suiza, El Aguacate, El Congo, El Dorado y Las Mercedes.

- ✓ Microcuenca del Nandarola con un área de 35.3 km², ubicada en la parte sur presenta de la subcuenca con una dirección hacia el este con respecto al Río Ochomogo presenta bastante sinuosidad y entre sus principales afluentes están: Quebrada de Lacho, San Rafael, El Cebadillo y el Nandarola.

Curso principal del Río Ochomogo con un área de 82.8 km², con afloramiento en la parte alta, sinuosidad desde la parte alta hasta la desembocadura al Lago de Nicaragua.

2.3 Tipo y usos del suelo

2.3.1 Tipos de suelos

Los tipos de suelos que se identifican específicamente en la unidad hidrográfica correspondiente a la subcuenca del río Ochomogo delimitada a nivel 6 para efecto del presente trabajo, se identificaron cuatro grupos taxonómicos que corresponde a grupo Alfisoles, Entisoles, Molisoles y Vertisoles.

Los suelos correspondientes al grupo de los **alfisoles** se caracterizan por ser suelos francos arenosos, en relieve de plano a muy escarpados, tienen una fertilidad con valores de baja a media; desarrollados a partir de rocas ácidas, básicas, metamórficas, materiales indiferenciados y estratos sedimentarios. La pendiente varía de 0 a 75 %, se hallan al oeste de la Finca Rodeo Grande con una área de 6.06 km².

El grupo correspondiente a los Entisoles, Son suelos de formación reciente que tienen poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes pedogenéticos, la mayoría no poseen horizontes, con drenaje interno excesivo, moderadamente bueno, bueno, pobre a muy pobre, la profundidad varía de profundos a muy superficiales, en relieve de plano a muy escarpado, la fertilidad del suelo es de alta a baja, en algunos suelos las inundaciones son frecuente y prolongadas durante la estación lluviosa.

El drenaje Natural de estos suelos varía de excesivo a muy pobre, estos suelos se encuentran en las provincias Volcánica del Pacífico, Costera del Pacífico, Planicie

Costera del Atlántico y Tierras Altas del Interior, con rangos de pendiente del terreno que varían de 0.5 % hasta 75 % y más.

El grupo taxonómico de los **Molisoles** son suelos francos arcillos, suelos con un drenaje interno natural de muy pobre a bien drenado, de muy superficiales a muy profundos, en relieve de plano a muy escarpado, fertilidad de baja a alta; desarrollados de depósitos aluviales y lacustres sedimentados, de origen volcánico, rocas básicas, ácidas, metamórficas, sedimentarias y piroclásticas.

El drenaje interno del suelo es de muy pobre a bien drenado, el nivel freático se encuentra bastante superficial durante la estación lluviosa en algunas áreas, con rangos de pendientes entre 0 y 75% y relieve de plano a muy escarpado.

Las características morfogenéticas de estos suelos son: texturas del suelo y subsuelo de franco arenoso a franco arcilloso y arcilloso, con colores que varían de pardo grisáceo a pardo rojizo, gris y pardo oscuro; en algunas áreas se encuentra una capa de talpetate de diferentes colores y grados de cementación, otros poseen piedras en la superficie y gravas en el perfil.

Los suelos del orden **vertisoles** se caracterizan por ser suelos arcillosos, que durante la estación seca se contraen y presentan grietas anchas y profundas y durante la estación lluviosa se expanden, tienen formación de micro relieve en la superficie, la fertilidad del suelo es de alta a baja, desarrollados de tobas y de sedimentos aluviales y coluviales.

2.3.2 Uso de los suelos

El uso adecuado para estas tierras es forestaría o vegetación natural, variedades de pastos adaptables a las condiciones y conservación de la flora y la fauna en las cercanías del Lago de Nicaragua. El uso actual del suelo predominante en la unidad hidrográfica corresponde a Pasto 119.80 km² (44.89%), Bosque Latifoliado Ralo con 65.96 km² (24.72 %), Cultivo Anual con 23.79 km² (8.91%), representan el 78.52 % del área total de la unidad hidrográfica. El área restante (21.48 %), se distribuye entre otros usos actuales, como son: cultivos permanentes (6.72 %), tacotales (2.41 %). En tabla no. 3 y mapa de uso del suelo, se ilustran los

diferentes usos potenciales, sus áreas en km², hectáreas con los respectivos potenciales y porcentajes.

USOS DEL SUELO

Usos Actuales	Km ²	Ha	%
Agua Superficiales	0.42	42.0	0.16
Bosque Latifoliado Denso	7.07	707	2.65
Bosque Latifoliado Ralo	65.96	6,596	24.72
Ciudades, centros poblados	2.28	228	0.85
Cultivo Anual	23.79	2,379	8.91
Cultivo Permanente	18.12	1,812	6.79
Humedal	1.54	154.0	0.68
Plantación Forestal	14.40	144.0	0.54
Suelo sin Vegetación	1.85	185.0	0.82
Pasto	119.80	11,980	44.89
Tacotales	6.44	644.0	2.41
Vegetación Arbustiva	5.21	521.0	1.95
Total	266.88	26,688	100.00

Fuente: INETER

CAPITULO III: MARCO TEORICO

3.1 Caracterización Climática de la Subcuenca

3.1.1 Clasificación Climática de Köppen

Para la Clasificación Climática, se utilizó las Modificaciones del Sistema de Köppen hecha por la MSc. Enriqueta García, consultora proyecto FINNIDA /OMM/CRRH/INETER-Dirección de Meteorología, 1994.

Las designaciones originales correspondientes a los grupos climáticos A, B, C, D, y E se conservan iguales. El clima Af que Köppen llama “Clima de Selva”, es designado como “Clima” y Caliente Húmedo con lluvias todo el año”. El clima Aw, designado por Köppen “Clima de Sabana” es designado como “Clima caliente y sub-húmedo con lluvias en verano.

Las designaciones que utiliza Köppen para definir el régimen de precipitación se cambiaron por otras equivalentes que indican la ubicación de la estación lluviosa, con relación a la estación cálida o la fría; en vez de usar como lo hace Köppen, la época seca con el mismo fin, por ejemplo, para el clima que Köppen denomina “**Clima con invierno seco**” w por lo menos diez veces mayor la cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año (mayo -octubre) que en el mes más seco; se adoptó la designación de “**Clima con lluvias en verano**”. No importa que a veces el mes más lluvioso no se haya incluido exactamente en esta estación, pues en el caso que no lo esté, ello puede indicarse usando los símbolos de Köppen:

“w” mes más lluvioso desplazado hacia el otoño

“w” dos estaciones lluviosas separadas por una temporada seca corta en el verano y una larga en la mitad fría del año (noviembre-abril).

Köppen utilizó tres criterios diferentes para delimitar los climas de acuerdo a la temperatura, para tal fin y en algunos casos, usa las temperaturas medias de los meses más fríos y más calientes, en otros, el promedio anual de las temperaturas y por último, un período del año con cierta temperatura, según Köppen, la temperatura

de 18°C para el mes más frío, separa a los climas templados húmedos “C”, de los calientes húmedos “A”.

Los límites térmicos que se usan en la clasificación de Köppen, no son comparables entre sí, puesto que no se emplea el mismo criterio para todos, por lo que en el presente estudio se utilizó el criterio de la temperatura media anual.

Para designar a los lugares con climas pertenecientes a este grupo, conservando los símbolos originales de Köppen, cuando una estación con las características del subgrupo resulte incluido en el grupo C, se colocará antes de esa letra el símbolo (A) (entre paréntesis), para iniciar su tendencia hacia condiciones climáticas del grupo A.

Por el contrario, si una estación con características semicálidas resulta dentro de grupo A Köppen, se le agregará la letra (C) inmediatamente después de la letra A, para indicar su tendencia hacia condiciones climáticas del grupo C.

De lo anterior se puede establecer lo siguiente:

Climas Húmedos	Símbolos	Temperatura Media Anual
Cálidos	A	Sobre 22 °c
Semicalidos grupo A	A (C)	Entre 18 °c y 22 °c
Semicalidos grupo C	(A) C	Bajo 18 °c

Fuente: INETER

Los climas con escasa oscilación térmica se consideran isotermales (i), ya que la oscilación media anual de las temperaturas medias es inferior a 5°C. Los que tienen oscilaciones mayores, comprendidas entre 5° y 7°C se les denomina con el símbolo (i').

Modificaciones al Grupo de Climas A, tropicales lluvioso

Tipos de climas Af de Köppen, con precipitación del mes más seco de 60 mm.

<u>Símbolo</u>	<u>% de lluvia invernal con respecto a la anual</u>
Am(+)	(mayor de 10.2%)
Am	(entre 5 y 10.2%)
Am (w)	(menor de 5%)

Tipos de clima Am de Köppen. No necesariamente debe tener por lo menos diez veces mayor cantidad lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año, que en el mes más seco.

Tipos de climas **Aw** de Köppen (subhúmedo con lluvias en verano). Por lo menos diez veces mayor cantidad de lluvias en el mes más húmedo de la mitad caliente del año, que en el mes más seco.

<u>Símbolo</u>	<u>Cociente P/T</u>	<u>Designaciones</u>
Awo	43.2	(el más seco de los subhúmedos)
Aw1	entre 43.2 y 55.3	(intermedio entre Aw0 y Aw2)
Aw2	55.3	(el más húmedo de los Subhúmedos).

De acuerdo a la clasificación de Köppen el clima predominante en la zona en estudio es de Clima Caliente y Sub-húmedo con lluvia en el periodo seco (AW1), (AW2). Este clima predomina en toda la Región del Pacífico y en mayor parte en la Región Norte. Se caracteriza en una marcada estación seca durante seis meses, desde noviembre hasta abril y un período lluvioso que inicia en mayo y finaliza en octubre.

3.1.2 Precipitación Media Anual

El comportamiento de la precipitación en Nicaragua tiene como principal comportamiento la de disminuir de Este a Oeste y su distribución media anual es variada, con rangos comprendidos entre 800 mm que se registran en los valles intramontaños en el Norte del país, hasta más de 5000 mm en el Sureste del país.

La distribución de la precipitación interanual presenta importantes variaciones espaciales y temporales que son el resultado de complejas interacciones entre la circulación general de la atmósfera, los sistemas meteorológicos, la orografía, la orientación y forma de las costas así como las influencias de los flujos de humedad provenientes del Mar Caribe y el Océano Pacífico.

La distribución de la precipitación media anual, se puede obtener por el método de los Polígonos de Thiessen, esto con el objetivo de tener una mejor distribución espacial de la lluvia.

3.1.3 Aspectos Hidrográficos

Dada la importancia de la configuración de las cuencas, se trata de cuantificar estas características por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento (hidrogramas).

Parece claro que existe una fuerte componente probabilística en la determinación de una cuenca mediante sus parámetros y las características de la red de drenaje. Por esta razón se han buscado relaciones de similitud geométrica entre las características medias de una cuenca y de su red de canales con esas de otras cuencas.

Una cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje de un río es el área limitada por un contorno al interior del cual las aguas de la lluvia que caen se dirigen hacia un mismo punto, denominado salida de cuenca. Es en suma, el área de captación de aguas de un río delimitado por el parteaguas.

La cuenca hidrográfica actúa como un colector natural, encargada de evacuar parte de las aguas de lluvia en forma de escurrimiento. En esta transformación de lluvias en escurrimiento se producen pérdidas, o mejor, desplazamiento de agua fuera de la cuenca debido a la evaporación y la percolación.

Para este tipo de estudios no solamente interesa saber el volumen total a la salida de la cuenca, sino también su distribución espacial y temporal, para lo cual se necesita tener un buen conocimiento de sus características morfométricas.

El movimiento del agua en la naturaleza es una función compleja en la cual intervienen diversos factores, entre los cuales se pueden resaltar su clima y sus características fisiográficas

La caracterización morfométrica abarca los aspectos fisiográficos y geomorfológicos más relevantes de la cuenca tales como: pendiente, relieve, escurrimiento, uso del suelo, cobertura vegetal entre otros a fin de evaluar e interpretar las características o fenómenos que ocurren en ésta y conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico.

Esta actividad nos permite conocer la variación espacial de los aspectos que definen su régimen hidrológico, tales como (elongación, forma de la cuenca, compacidad y otras) que influyen directamente en la retención superficial e infiltración.

3.2. Fisiografía y geomorfología de la subcuenca

3.2.1 Área de la subcuenca

El área de la cuenca es probablemente la característica geomorfológica más importante para el diseño. Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural.

Es de mucho interés discutir un poco sobre la determinación de la línea de contorno divisoria de la cuenca. Realmente la definición de dicha línea no es clara ni única, pues puede existir dos líneas divisorias: una para las aguas superficiales que sería la topográfica y otra para las aguas sub-superficiales, línea que sería determinada en función de los perfiles de la estructura geológica, fundamentalmente por los pisos impermeables.

Frecuentemente se desea analizar una cuenca de gran tamaño y muchas veces es necesario dividirla en subcuencas o subsistemas dependiendo de las metas en estudio del proyecto determinado. El área es un parámetro geomorfológico muy importante. Su importancia radica en las siguientes razones:

a) Es un valor que se utilizará para muchos cálculos en varios modelos hidrológicos.

b) Para una misma región hidrológica o regiones similares, se puede decir que a mayor área mayor caudal medio.

c) Bajo las mismas condiciones hidrológicas, cuencas con áreas mayores producen hidrogramas con variaciones en el tiempo más suaves y más llanas. Sin embargo, en cuencas grandes, se pueden dar hidrogramas picudas cuando la precipitación es intensa y en las cercanías, aguas arriba, de la estación de aforo.

Estadísticamente se ha demostrado que el factor "área" es el más importante en las relaciones entre escorrentía y las características de una cuenca. Esto se puede afirmar por el alto valor de los coeficientes de correlación cuando se grafica escorrentía respecto al área. Pero hay otros parámetros que también tienen su influencia en la escorrentía como la pendiente del canal, la pendiente de la cuenca, la vegetación y la densidad de drenaje.

En hidrología, para el cálculo de las áreas, se puede emplear el planímetro. Sin embargo actualmente se usan más y más los computadores para hallar este parámetro. La divisoria de la cuenca se puede delimitar indicando la longitud y latitud de los puntos a lo largo de ésta, asumiendo que entre ellos la línea que los une es una línea recta. El área será entonces, la encerrada por la serie de segmentos así obtenidos y es calculada por la mayoría de los softwares existentes en el mercado usando los principios de la trigonometría.

Es de mucho interés discutir un poco sobre la determinación de la línea de contorno o de divorcio de la cuenca. Realmente la definición de dicha línea no es clara ni única, pues puede existir dos líneas de divorcio: una para las aguas superficiales que sería la topográfica y otra para las aguas sub-superficiales, línea que sería determinada en función de los perfiles de la estructura geológica, fundamentalmente por los pisos impermeables.

Frecuentemente se desea analizar una cuenca de gran tamaño y muchas veces es necesario dividirla en subcuencas o subsistemas dependiendo de las metas en estudio del proyecto determinado. El área es un parámetro geomorfológico muy importante. Su importancia radica en las siguientes razones:

- a) Es un valor que se utilizará para muchos cálculos en varios modelos hidrológicos.
- b) Para una misma región hidrológica o regiones similares, se puede decir que a mayor área mayor caudal medio.
- c) Bajo las mismas condiciones hidrológicas, cuencas con áreas mayores producen hidrogramas con variaciones en el tiempo más suaves y más llanas. Sin embargo, en cuencas grandes, se pueden dar hidrogramas picudas cuando la precipitación es intensa y en las cercanías, aguas arriba, de la estación de aforo.

Estadísticamente se ha demostrado que el factor "área" es el más importante en las relaciones entre escurrimiento y las características de una cuenca. Esto se puede afirmar por el alto valor de los coeficientes de correlación cuando se grafica escurrimiento respecto al área. Pero hay otros parámetros que también tienen su influencia en la escurrimiento como la pendiente del canal, la pendiente de la cuenca, la vegetación y la densidad de drenaje.

La longitud de la cuenca puede estar definida como la distancia horizontal del río principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.

El perímetro de la cuenca o la longitud de la línea de contorno de la cuenca es un parámetro importante, pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca. El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L).

El área es el tamaño de la superficie de la cuenca en km^2 . Se obtiene a partir de la digitalización por medio el software Sistema de Información Geográfica Arcgis 10.0, pudiéndose extraer estos parámetros de forma directa de mapas cartográficos.

Se ha comprobado que la relación del área con la longitud de la misma es proporcional y también que está inversamente relacionada a aspectos como la densidad de drenaje y el relieve relativo. Si el área es pequeña, tendrá menor capacidad de captación de aguas y menor volumen.

Tipos de cuencas por Tamaño (Km²)	
Rangos de áreas	Clases de tamaño
12.5 – 35	Muy pequeña
35.5 – 58	Pequeña
58.8 - -81	Mediana
81.5 - -103.5	Grande

Fuente: INETER

De acuerdo al cuadro anterior, la subcuenca río Ochomogo; según esta referencia; se cataloga como subcuenca grande por lo que presenta gran capacidad de coleccionar agua. Conociendo el área de la subcuenca podemos hablar de su forma a través del Coeficiente de Compacidad (Kc) y el Factor de forma (Kf).

De acuerdo a la salida del flujo se clasifica de tipo exorreica, lo que indica que sus aguas son vertidas a otro río o cuerpo superficial para finalmente desembocar al mar u océano. En este caso el río Ochomogo es el río principal que drena sus aguas hacia el Lago Cocibolca de forma permanente y presencia de escurrimiento todo el año, la red de drenaje se caracteriza por ríos de régimen permanente, intermitente y presencia de canales que son utilizados para riego de cultivos anuales como el arroz y otros.

3.2.2 Coeficiente de Compacidad (Kc)

Este valor adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de Kc nunca serán inferiores a 1.

El grado de aproximación de este índice a la unidad (1) indicara la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea Kc, mayor será la concentración de agua. En el siguiente cuadro se muestra las clases de compacidad de cuenca según sea el valor de Kc.

Clases de valores de Compacidad	
Rangos de Kc	Clases de Compacidad
1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 -	De oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: INETER

3.2.3 Rectángulo equivalente

Supone la transformación geométrica de la cuenca real en una superficie rectangular de lados L y l del mismo perímetro de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo (l). Esta cuenca teórica tendrá el mismo Coeficiente de Gravelius y la misma distribución actitudinal de la cuenca original.

El cálculo del lado mayor y lado menor del rectángulo equivalente se realiza con las siguientes ecuaciones:

$$LM = (Kc \cdot \sqrt{A}) / 1.12 [1 + \sqrt{1 - (1.12/Kc)^2}]$$

$$Lm = (Kc \cdot \sqrt{A}) / 1.12 [1 - \sqrt{1 - (1.12/Kc)^2}]$$

Donde:

LM= Lado mayor del rectángulo en km

Lm = Lado menor del rectángulo en km

Kc = coeficiente de Gravelius

A= superficie de la cuenca en km²

3.2.4 Factor de Forma

"El factor de forma relaciona la forma de la cuenca con la de un cuadrado, correspondiendo un $F_c = 1$ para regiones con esta forma fácilmente, que es imaginaria. Un valor de F_c superior a la unidad nos proporciona el grado de achatamiento de la cuenca o de un río principal corto. En consecuencia, con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas."⁵

Clases de Valores de Factor de Forma	
Rangos de F_c	Clases de forma
0.01 – 0.18	Muy poco achatada
0.18 – 0.36	Ligeramente achatada
0.36 – 0.54	Moderadamente achatada

Fuente: INETER

3.2.5 Relieve

El relieve de la cuenca es variado. Está formado por las montañas y sus flancos por las quebradas, valles y mesetas. El relieve es el comportamiento accidentado del terreno. Las cuencas pueden denominarse: Cuencas planas, Cuencas de alta montaña, cuencas accidentadas o quebradas.

El relieve es un factor importante en el comportamiento de la cuenca, ya que cuantos mayores son los desniveles en la cuenca, mayor es la velocidad de circulación y menor el tiempo de concentración, lo que implica un aumento del caudal de punta.

3.2.6 Elevaciones

Mediante las elevaciones presentes en la subcuenca, el área entre curvas se puede obtener apoyados con el programa ArcGis On Mapa de la elevación. Así mismo el determinar las áreas entre curvas de niveles permite calcular el coeficiente de compacidad, la pendiente media de la cuenca, la curva hipsométrica y los polígonos de frecuencia.

3.2.7 Índice de Compacidad (Índice de Gravelius)

El índice de Compacidad puede ser calculada mediante la fórmula siguiente:

$$K_c = \frac{P \text{ (Km)}}{A \text{ (Km}^2\text{)}^{0.5}} * 0.28$$

Donde

K_c = Índice de Gravelius

P = Perímetro de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

3.2.8 Pendiente media.

La elevación promedia en una cuenca tiene especial interés en zonas montañosas pues nos puede dar una idea de la climatología de la región, basándonos en un

patrón general climático de la zona. La elevación promedia está referida al nivel del mar. Este valor puede ser encontrado usando la curva hipsométrica o el histograma de frecuencias altimétricas. La estimación por una media aritmética ponderada en el caso del histograma, o de la curva hipsométrica calculando el área bajo la curva y dividiéndola por el área total.

La altura media, H , es la elevación promedia referida al nivel de la estación de aforo de la boca de la cuenca.

Este parámetro es de importancia pues da un índice de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca.

Uno de los métodos más representativos para el cálculo es el muestreo aleatorio por medio de una cuadrícula; llevando las intersecciones de la cuadrícula sobre el plano topográfico y calculando la pendiente para todos puntos arbitrariamente escogidos. Con todos estos valores se puede construir un histograma de pendientes que permite estimar el valormedio y la desviación estándar del muestreo de las pendientes.

Las pendientes para los puntos dados por las intersecciones de la cuadrícula se calculan teniendo en cuenta la diferencia de las dos curvas de nivel entre las cuales el punto quedó ubicado y dividiéndola por la distancia horizontal menor entre las dos curvas de nivel, pasando por el punto ya determinado

La pendiente media de la subcuenca se obtiene partir de las áreas de las curvas. Para ellos se obtiene la pendiente de cada área entre curvas, las cuales se suman y forman la pendiente media de la subcuenca.

3.2.9 Curva hipsométrica

Esta curva representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. También podría verse como la variación media del relieve de la cuenca.

La curva hipsométrica se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en km^2 o en porcentaje, obtenida hasta un determinado nivel, el cual se lleva al eje de las ordenadas, generalmente en metros.

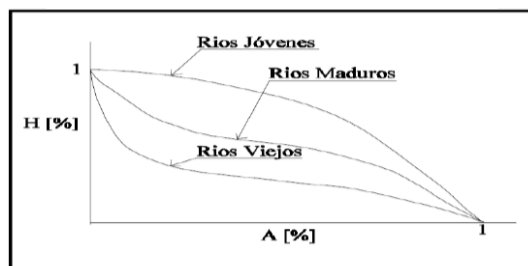
Normalmente se puede decir que los dos extremos de la curva tienen variaciones abruptas. La función hipsométrica es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación.

Es posible convertir la curva hipsométrica en función adimensional usando en lugar de valores totales en los ejes, valores relativos: dividiendo la altura y el área por sus respectivos valores máximos.

La curva hipsométrica es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca y se obtiene a partir de un plano topográfico tomándose los valores en porcentajes del área que están por debajo de una determinada altura, que inicialmente serán la del punto más bajo de la cuenca e irá aumentando de acuerdo a los valores de las cotas de la curva de nivel que encierra las franjas de terreno por ellas definidas y el punto de salida que es generalmente el sitio más bajo de la cuenca. Se divide en tres zonas

- 1.-Zona donde predomina la producción de sedimentos y aguas (Ríos jóvenes).
- 2.- Zona donde predomina el transporte de ambos (Ríos maduros)
- 3.- Zona caracterizada por la deposición de sedimentos (Ríos en etapa de vejez)

Curva Hipsométrica



3.2.10 Polígonos de Frecuencia Altitudes

Se obtiene representando sobre el eje de ordenadas el porcentaje de superficie total de la cuenca comprendida entre las dos curvas de nivel consecutivas.

3.2.11 Red de Drenaje.

La forma en que estén conectados los canales en una cuenca determinada, influye en la respuesta de ésta a un evento de precipitación. Se han desarrollado una serie de parámetros que tratan de cuantificar la influencia de la forma del drenaje en la escorrentía superficial directa. El orden de los canales es uno de ellos. Uno de los criterios para determinar el orden de los canales en una hoya es el definido por el modelo de STRAHLER. Según este modelo se toman como canales de primer orden todos aquellos que no tengan afluentes. Cuando se unen dos canales de primer orden forman un canal de segundo orden y así sucesivamente

Se denomina parte aguas a la línea imaginaria que delimita una cuenca, subcuenca o micro cuenca. Red de drenaje es el conjunto de cuerpos de agua que se encuentran dentro del parte agua. Entre los elementos que forman parte de la red son las corrientes efímeras e intermitentes, lagos, lagunas, zonas húmedas y canales.

La red de drenaje del río en estudio está constituida por corrientes efímeras e intermitentes, el total de longitud de toda la red de drenaje es de 133.431 km

3.2.12 Densidad de Drenaje.

La vegetación en las cuencas hidrográficas tiene una fuerte influencia en el régimen hidrológico de la misma, pues está relacionado con la erosión, temperatura y evaporación de la región.

El coeficiente de cubrimiento de bosques se refiere al porcentaje de la superficie de la cuenca ocupada por bosques o por otro tipo de vegetación. Este valor es importante pues en la comparación de cuencas no es lo mismo cuencas urbanas o agrícolas o de bosques naturales densos o claros.

Aunque el coeficiente mencionado en último término no se podría denominar como un parámetro geomorfológico, sí es interesante citarlo por la importancia que tiene en el manejo de una cuenca.

La Densidad de drenaje varía inversamente con la extensión de la cuenca. Con el fin de catalogar una cuenca bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, se puede considerar que valores de Dd próximos a 0.5 km/km² o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje. Valores altos de densidad de drenaje indican mayor eficiencia de transporte y mayor velocidad de transporte.

La densidad de drenaje se obtiene realizando la siguiente ecuación

$$Dd = \frac{Li \text{ (Km)}}{At \text{ (Km}^2\text{)}}$$

Donde:

Li = Longitud total de todos los ríos y/o cursos (km)

At= Área total de la cuenca (km²)

Rangos de densidad de drenajes

Clases de Densidad de Drenaje	
Rangos de densidad	Clases
0.1 - 1.8	Baja
1.9 – 3.6	Moderada
3.7 – 5.6	Alta

Fuente: INETER

El cuadro anterior se orienta la clasificación de la densidad de drenaje según sea el rango.

3.2.13 Longitud del cauce Principal

Longitud de la cuenca es la longitud de una línea recta considerada paralela al cauce principal. La longitud del cauce principal es la distancia entre la desembocadura y el nacimiento. La longitud máxima (Lm) o recorrido principal de la cuenca es la distancia entre el punto de desagüe y el punto más alejado de la cuenca, siguiendo la dirección de drenaje. El recorrido principal, es la máxima distancia recorrida por el flujo de agua dentro de la cuenca.

3.2.14 Numero de escurrimiento.

Es la cantidad de afluentes naturales de la cuenca. Constituye una medida de la energía de la cuenca, de la capacidad de captación de aguas y de la magnitud de la red fluvial. Un mayor número de escurrimiento proporciona un mejor drenaje de la cuenca y por lo tanto, favorece el escurrimiento.

Los valores de escurrimiento se han agrupado en la siguiente tabla.

Clases de valores de Escurrimientos	
Rangos de escurrimiento	Clases
0 – 170	Bajo
171 – 340	Medio
341 – 510	Alto

Fuente: INETER

El escurrimiento se obtiene con la siguiente ecuación.

$$Es = \frac{\text{Area (Km}^2\text{)}}{4 * Li (Km)}$$

Donde:

A = Área de drenaje de la cuenca (km²)

Li = Longitud de todos los ríos que comprende la cuenca (km)

3.2.15 Pendiente media del río principal.

La pendiente media del cauce se la puede estimar por diferentes métodos, uno de ellos es el de los valores extremos, el cual consiste en determinar el desnivel H entre los puntos más elevado y más bajo de río en estudio y luego dividirlo entre la longitud del mismo cauce. El siguiente cuadro muestra las clases de pendiente según sea el valor de esta.

Clases de valores de pendiente (%)	
Rangos de Pendiente.	Clases
0.01 – 0.5	Suave
0.06 – 0.11	Moderada
0.12 – 0.17	Fuerte

Fuente: INETER

3.2.16 Tiempo de concentración.

El tiempo que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto hasta el punto de interés. Corresponde al lapso entre el final de la lluvia y el momento en que cesa el escurrimiento superficial. A mayor tiempo de concentración, mayor es el volumen de agua. También puede indicar un mayor escurrimiento. El cuadro muestra las clases de tiempo de concentración según sea el valor de este último.

Clases de Tiempo de Concentración (min)	
Rangos de Tc	Clases
0 – 41.7	Rápido
41.6 – 83.2	Moderado
83.3 – 125.1	Lento

Fuente: INETER

El tiempo de concentración se determina mediante el desarrollo de la siguiente ecuación, su resultado estará en minutos. (Método centroamericano)

$$T_c = 0.0041 * K t^{0.77}$$

$$K_t = 3.28 * (Lr/S^{0.5})$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal en m

Tc= tiempo de Concentración en minutos.

S= pendiente

3.3 Balance hídrico

3.3.1 Objetivos e importancia de los estudios del Balance Hídrico

Las técnicas del balance hídrico, uno de los principales objetivos en hidrología, son un medio para solucionar importantes problemas hidrológicos teóricos y prácticos. A partir de un estudio del balance hídrico es posible hacer una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus modificaciones por influencia de las actividades del hombre.

El balance hídrico ayuda en la predicción de las consecuencias debidas a cambios artificiales en el régimen de ríos, lagos y cuencas subterráneas. La información que

proporciona el balance hídrico de las cuencas de ríos y lagos para cortos períodos de tiempo (estaciones, meses, semanas y días) se utiliza para explotación de embalses y para predicciones hidrológicas.

El conocimiento del balance hídrico es también muy importante para el estudio del ciclo hidrológico. Con los datos del balance hídrico es posible comparar recursos específicos de agua en un sistema, en diferentes períodos de tiempo, y establecer el grado de su influencia en las variaciones del régimen natural.

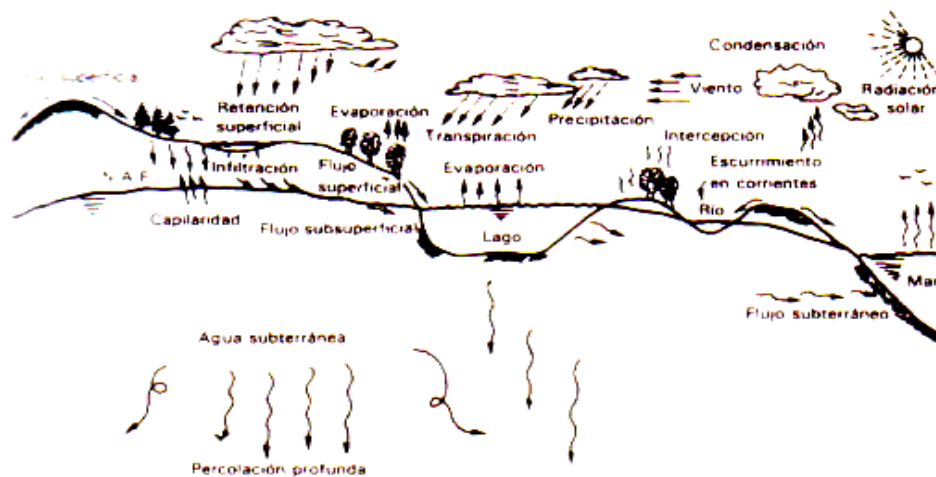


Figura 1 Ciclo Hidrológico (Tomado de Fundamentos de Hidrología de Superficie. Aparicio)

3.3.2 El ciclo hidrológico y la ecuación de balance hídrico

Todos estos siglos de experiencia y estudio han convergido para formar el concepto de ciclo hidrológico. El concepto es simplemente que el agua cambia de estado y es transportada en un sistema cerrado: la Tierra y su atmósfera. El ciclo es cerrado sólo en toda la Tierra, donde cada gota de agua sigue un camino desde el océano hasta la atmósfera y la tierra (a lo largo de la superficie o flujo subterráneo). La energía para mantener funcionando este sistema es provista por el Sol. Los procesos involucrados son:

- 1.- Evaporación,
- 2.- Condensación
- 3.- Precipitación,
- 4.- Infiltración
- 5.- Escorrentía (o Escurrimiento).

Usualmente, uno se encuentra ante un problema con condiciones locales y se enfrenta por lo tanto a un sistema abierto. Sin embargo, a menos que uno reconozca el ciclo hidrológico básico, terminará preguntándose cómo hace el agua para 'trepar' a la cima de las montañas.

Después del análisis inicial, utilizado para estimar los componentes del balance hídrico y su ajuste en la ecuación, es posible detectar deficiencias en la distribución de estaciones de observación y descubrir errores sistemáticos de medición.

El conocimiento del balance hídrico permite una evaluación indirecta de cualquier componente desconocido dentro del, por diferencia entre los componentes conocidos; por ejemplo, la evaporación a largo plazo, en una cuenca de un río, puede calcularse por diferencia entre la precipitación y el caudal.

Forma general de la ecuación del balance hídrico en hidrología se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido por nosotros como Ecuación de la Continuidad. Esta establece que, para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada.

En general, la técnica del balance hídrico implica mediciones de ambos aspectos, almacenamientos y flujos del agua; sin embargo, algunas mediciones se eliminan en función del volumen y período de tiempo utilizados para el cálculo del balance (UNESCO, 1.971).

La ecuación del balance hídrico, para cualquier zona o cuenca natural (tal como la cuenca de un río) o cualquier masa de agua, indica los valores relativos de entrada y salida de flujo y la variación del volumen de agua almacenada en la zona o masa de agua.

En general, las entradas en la ecuación del balance hídrico comprenden la precipitación (P), en forma de lluvia o nieve, realmente recibida en la superficie del suelo y las aguas superficiales y subterráneas recibidas dentro de la cuenca o masa de agua desde fuera (Q_{sl} y Q_{uo}).

Las salidas en la ecuación incluyen la evaporación desde la superficie de la masa de agua (E) y la salida de corrientes de agua superficial y subterránea desde la cuenca o masa de agua considerada (Q_{so} y Q_{ou}). Cuando las entradas superan a las salidas el volumen de agua almacenada (AS) aumenta y cuando ocurre lo contrario disminuye.

Todos los componentes del balance hídrico están sujetos a errores de medida o estimación, y la ecuación del balance deberá incluir, por tanto, un término residual o de diferencia (w).

Los componentes principales del balance hídrico: precipitación, caudal, evaporación y almacenamiento de agua en diversas formas. Por tanto, el balance hídrico superficial para cualquier masa de agua y cualquier intervalo de tiempo, en su forma más general, vendrá representado por la siguiente ecuación:

$$P = EPR + I + Qs = \Delta s$$

P: Precipitación

ETR: Evapotranspiración Real

I: Infiltración

Q_s : Escorrentía superficial

Δs : Variación de almacenamiento

El balance hídrico tiene como finalidad evaluar y cuantificar la oferta y demanda del recurso hídrico, en el que interviene el ciclo hidrológico. La expresión de la ecuación de balance hídrico se fundamenta en el principio de la conservación de masa, la cual contempla los procesos y elementos que constituyen el sistema; las entradas y las salidas de agua durante un período de tiempo determinado, tomando en cuenta el almacenamiento al inicio y al final del período evaluado.

La fórmula del balance hídrico, está basada en la ecuación de continuidad, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} = \text{CAMBIO DE ALMACENAMIENTO}$$

Para la estimación de la distribución espacial de la precipitación de una cuenca se seleccionan y toman registro de datos climatológicos de las estaciones que se encuentran dentro o cerca de la cuenca de acuerdo a criterios de la OMM, que establece que la distancia de las estaciones no debe ser mayor a 50 km de una estación a otra.

Se selecciona el registro a período en común, realiza análisis de datos faltantes, homogeneidad, doble masa y relleno de datos faltantes. Se calcula la precipitación media anual por los métodos de Isoyetaso método de los polígonos de Thiessen.

Para la realización del trazado de las isolíneas de precipitación o la triangulación de thiessen se realiza con apoyo de software como el Surfer, arcgis10.0 u otros.

Los métodos estadísticos señalados para estimar los errores aleatorios se pueden utilizar para todos los componentes del balance hídrico, los cuales se obtienen como medias aritméticas de los valores observados.

Generalmente, la garantía de la media ponderada aumenta con el número de puntos de observación, debido a que los errores aleatorios de diferentes signos se compensan unos con otros, cuando se suman los valores ponderados.

La caracterización hidrológica abarca los aspectos fisiográficos y geomorfológicos más relevantes de la cuenca tales como: pendiente, relieve, escurrimiento, uso del suelo, cobertura vegetal entre otros a fin de evaluar e interpretar las características o fenómenos que ocurren en ella y conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico.

Con el objetivo de mantener la representatividad de la información utilizada en la caracterización climática, se establecieron criterios de localización y simultaneidad de las estaciones, se seleccionaron promedios cuyos años fueran los mismos y que la longitud del registro estuviera determinada por la variabilidad del parámetro.

Considerando este criterio, la recopilación de la información fue realizada a través de los promedios mensuales, y anuales de los parámetros de precipitación, temperatura y humedad relativa con período de quince años de registros (2000 – 2015)

Para 5 estaciones de diferentes tipos que se encuentran distribuidas dentro y fuera de la cuenca.

3.3.3 Parámetros que intervienen en el Balance Hídrico

Precipitación:

Toda agua que cae de la atmósfera a la superficie de la tierra escurre hacia las corrientes, inmediatamente después que llega al terreno y es la causa de muchas avenidas. La medición de la precipitación se hace con el Pluviómetro (Cantidad de lluvia) y el Pluviógrafo (cantidad, intensidad y duración de la precipitación).

El más importante es el Pluviógrafo por los otros dos parámetros adicionales que registra. Ambos expresan la altura de lámina de agua que cae sobre una superficie plana, en milímetros.

El error en la media puntual de la precipitación es la acción del viento que produce turbulencia que desvía la trayectoria de las gotas de lluvia registrando valores que tienen error por defecto, que es tanto mayor cuanto más fuerte es la velocidad del viento y menor la precipitación de caída de la gota de agua.

A fin de estimar el error en la media puntual de la precipitación se debe tener en cuenta que:

Hay pocos sitios donde la condición de representatividad sea satisfecha.

La medida de una lluvia no se puede repetir si se tiene duda acerca de su precisión.

La muestra tomada en el pluviómetro es precipitación pequeña en relación con el conjunto de las precipitaciones que se pretenden representar.

Con respecto al error en la evaluación espacial, para evaluar la precipitación caída en una zona de la superficie terrestre, es indispensable basarse en las medidas puntuales registradas en los distintos instrumentos que constituyen la red pluviométrica.

La precipitación de la red para una buena evaluación está en función de:

Del origen de las precipitaciones de la zona; si las que se producen son de origen frontal que abarcan grande precipitación de superficie, la red puede ser menos densa respecto a las precipitaciones de origen locales.

Del relieve de la zona, en una zona plana se necesita una red menos densa que en una zona montañosa, debido al efecto orográfico que requiere una red más densa para detectar la precipitación de la precipitación que se producen en ella.

La exactitud de la evaluación de la precipitación depende esencialmente de la densidad de la red y la calidad de los instrumentos, instalaciones y observadores. La densidad y la calidad de los instrumentos dependen básicamente de la zona en estudio y del fin que se persigue.

Para una buena evaluación, la densidad de la red está en función del origen de la precipitación de la zona y del relieve mismo. Los métodos de evaluación son diversos, entre los principales están el de las isoyetas y el Thiessen. Con el método de las isoyetas se obtienen las siguientes ventajas:

Estimación de la variación paulatina de la precipitación en el espacio aún en zonas montañosas.

El Trazado del mapa de evapotranspiración real apoyándose en el de isotermas.

Evaluación de la precipitación caída en una cuenca y compararla con la esorrentía registrada a su salida.

Evapotranspiración:

Es el total de agua convertido en vapor por una cobertura vegetal; incluye la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración por las estomas de las hojas.

La evapotranspiración, es la combinación de dos procesos separados que originan pérdida de agua:

Evaporación: es el proceso por el cual el agua líquida es convertida en vapor de agua (vaporización). La energía requerida para cambiar el estado de las moléculas de agua a vapor es la radiación solar directa, la temperatura ambiental del aire.

Transpiración: Consiste en la vaporización del agua líquida contenida en las plantas y el vapor removido a la atmósfera. La pérdida del agua es a través de las estomas de las plantas.

La transpiración, depende de la energía radiante, gradiente de presión de vapor y viento, radiación, temperatura del aire, humedad del aire y viento. La razón de la transpiración también está influenciada por, la característica de la vegetación, aspecto del ambiente y práctica de cultivo.

Los factores que influyen en la Evaporación son los siguientes:

- ✓ Radiación Solar
- ✓ Temperatura
- ✓ Humedad: menos humedad, más evaporación

- ✓ Presión Atmosférica: la altitud, la latitud y longitud
- ✓ Viento: más viento, más evaporación
- ✓ La evaporación desde un suelo si cobertura depende de:
 - ✓ El poder evaporante de la atmósfera
 - ✓ El tipo de suelo (textura, estructura, etc.)
 - ✓ El grado de humedad del suelo
- ✓ La transpiración está en función de:
 - ✓ El poder evaporante de la atmósfera
 - ✓ El grado de humedad del suelo
 - ✓ El tipo de planta
- ✓ Variaciones estacionales
- ✓ Variaciones interanuales.

Temperatura

La cantidad de energía solar, retenida por el aire en un momento dado, se denomina Temperatura. Se puede afirmar que la temperatura depende ante todo de la radiación solar. El termómetro es el instrumento de fiabilidad que se utiliza para medir esa cantidad de energía. Esta medición debe realizarse a 1,5 metros del suelo, siendo un lugar ventilado y protegido de la influencia directa de los rayos del sol. El resultado de ello se expresa en una escala centígrada o en grados Celsius, o bien en la escala de Fahrenheit. No obstante, son tres los factores del clima que hacen funcionalmente variar la temperatura. Ellos son: la altitud, la latitud y la proximidad al mar. Pero además hay que agregarle en la influencia de los cambios términos a los movimientos de rotación y traslación de la tierra.

Caudal

Es el volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o canal en la unidad de tiempo. El hidrograma es la expresión gráfica de la variación del caudal a lo largo del tiempo.

Un hidrograma de caudal es una gráfica o una tabla que muestra la tasa de flujo como función del tiempo en un lugar dado de la corriente. En efecto, el hidrograma es una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia y escorrentía de una cuenca de drenaje particular.

Según Heras (1983), el hidrograma permite representar la variación del caudal de un río, en función del tiempo.

El hidrograma, está en función del aporte de precipitaciones que puedan ocurrir en la superficie de la cuenca y de las características físicas de ella.

CAPITULO IV: DISEÑO METODOLOGICO

4.1 Caracterización climática de la zona de estudio.

Para la caracterización de los parámetros climáticos de la zona de estudio se utilizarán estadísticas de INETER sobre parámetros de precipitación, temperatura y humedad, obtenidas de estaciones meteorológicas existentes en la zona de estudio. En el cuadro siguiente se detallan las estaciones meteorológicas utilizadas en esta investigación.

En la etapa preliminar Consistió en la recopilación de información de estudios realizados por instituciones: INETER, ALCALDIA, ENACAL y MAGFOR; información bibliográfica y exploración en INTERNET. Los datos que se investigaron están relacionado con la hidrodinámica, climatología, hidrología, geomorfología, recargas, uso y consumo de la subcuenca en estudio.

Se establecieron reuniones técnicas con el tutor, para el planteamiento de estrategias de reconocimiento del trabajo que se llevó a cabo durante todo el proceso de elaboración del proyecto. Esta etapa sirvió para establecer la etapa de recolección de información y datos de campo sobre diferentes parámetros hidrológicos de la subcuenca

El software Arcview GIS, es un sistema que provee las herramientas de escritorio necesarias para manejar la información geográfica de una manera fácil y dinámica, para un mejor análisis. Dicho programa permite la posibilidad de Visualizar datos de formato Arc/Info (Coberturas, Grid) e importar datos en formato de tablas para unirlos a una vista y poder visualizarlos en forma geográfica.

Estaciones	Coordenadas		Elevación (msnm)	Código	Tipo
	Lat. N	Long. E			
Camposzúles	11°53'50"	86°08'59"	470	69129	AG
Las Mercedes Carazo	11°42'24"	86°15'18"	60	68027	PV
Nandaime (IXG)	11°43'18"	86°02'48"	95	69033	AG
Rivas	11°22'39"	85°46'0.1"	70	69070	HMP
Santa Teresa	11°50'17"	85°59'26"	630	69052	PV

AG: Agrometeorológica; Pv: Pluviométrica; HMO: Hidrometeorológica Principal

Fuente: Elaboración Propia

4.2 Caracterización de los parámetros hidrográficos y morfológicos de la subcuenca.

La caracterización de los aspectos hidrográficos y morfológicos de la subcuenca se hará mediante el cálculo y valorización de los siguientes parámetros:

- ✓ Área de la subcuenca,
- ✓ Perímetro,
- ✓ Forma de la cuenca,
- ✓ Índice de compacidad o de Gravelius,
- ✓ Índice de pendiente,
- ✓ Altitud media,
- ✓ Rectángulo equivalente,
- ✓ Densidad de drenaje,

- ✓ Polígono de frecuencia,
- ✓ Número de escurrimiento,
- ✓ Índice de alargamiento,
- ✓ Curva hipsométrica,
- ✓ Longitud del río principal y su altitud media,
- ✓ Tiempo de concentración.

4.3 Balance hídrico

Cálculo de la Evapotranspiración potencial:

Existen numerosos métodos para estimar la Evapotranspiración, algunos sofisticados, considerando parámetros meteorológicos y edafológicos. Se debe tener en cuenta dos tipos de superficies, una natural y la otra de riego, por lo cual, el cálculo de la Evapotranspiración debe efectuarse, si es posible aplicando diferentes métodos. De todas las fórmulas recomendadas la que se aplica con frecuencia es la fórmula de Thornthwaite - Mather (1955).

Este método consiste en calcular para cada mes la Evapotranspiración potencial y a partir de su suma calcular el valor anual. La temperatura media mensual es el único parámetro que se requiere para su cálculo y la latitud que implícitamente introduce la duración teórica de la insolación.

Para el cálculo de la Evapotranspiración potencial (ETP) se utiliza la fórmula de Thornthwaite. La Evapotranspiración potencial no corregida ETP_{nc} de cada mes está dada por la expresión:

$$ETP_{nc} = \left(\frac{10 * T}{I} \right)^a$$

Donde:

T: temperatura media mensual en °C

I: Índice térmico mensual

$$I = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

El coeficiente **a** se expresa de la siguiente forma

$$a = 6.75 * 10^{-7} * I^3 - 7.71 * 10^{-5} * I^2 + 1.79 * 10^{-2} * I + 0.4923$$

Para obtener los valores corregidos de la Evapotranspiración ETPc se multiplican los valores mensuales ETPnc por un coeficiente de corrección F_c , que tiene en cuenta la latitud, o sea, la duración de la insolación teórica y del número de días de cada mes; para cada mes se tendrá.

$$ETPc = F_c * ETPnc$$

La Evapotranspiración anual será igual a la suma de los valores mensuales o sea:

$$ETP = \sum_{i=1}^{12} ETPc$$

Calculo de la Evapotranspiración Real:

Para obtener la Evapotranspiración Real (ETR) que servirá para calcular el Balance Hídrico, se establecen ciertas hipótesis basadas en efectuar al balance mes a mes. Las hipótesis son:

a.- Si la precipitación mensual P es superior a ETR y (ΔH) es la humedad disponible, entonces:

$$ETR = ETP$$

$$\Delta H = P - ETR$$

b.- Si la precipitación P es inferior a ETP, la Evapotranspiración Real es la suma de P y de parte o de toda la reserva de agua del suelo suponiendo:

c - Si la reserva de humedad del suelo es grande entonces:

$$ETR = ETP$$

Y las reservas del suelo se reducen en:

$$\Delta H = ETP - P$$

d - Si la reserva de humedad del suelo es insuficiente para satisfacer la ETP, entonces la ETR será menor a éste e igual a P, más humedad disponible (ΔH), ó será:

$$ETR = P + \Delta H$$

La suma de la ETR mensual será la Evapotranspiración Real anual. Considerando la precipitación y la evapotranspiración real de la unidad de cuenca, se obtienen los excesos y los déficits en cada mes durante todo el año, según la serie histórica utilizada.

CAPITULO V: CALCULOS Y RESULTADOS

5.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA SUBCUENCA

5.1.1 Precipitación

Para determinar la distribución de la precipitación media anual, se aplicó el método de los Polígonos de Thiessen, esto con el objetivo de tener una mejor distribución espacial de la lluvia, considerando haciendo mayor énfasis en la parte alta de la cuenca del Río Ochomogo. Con este método se consideran las precipitaciones del área de influencia de las estaciones meteorológicas.

Para el análisis del comportamiento de la precipitación en la subcuenca se tomaron en cuenta las estaciones que se presenta en el cuadro No. 1. Esto con el objetivo de tener una mejor interpretación del comportamiento estadístico de la variable meteorológica.

De acuerdo a la disponibilidad de datos y estaciones en el área de influencia y cercana, se tiene la representatividad del comportamiento de la precipitación de 3 estaciones, la que se muestra en cuadro No. 1.

Una vez realizado el cálculo de este parámetro climático se obtuvo una precipitación media anual de **1,531.19mm**

Cuadro No. 1: Precipitación Media anual (Método de Thiessen)

Cálculo de Precipitación Anual (Método de Thiessen)					
Subcuenca Río Ochomogo					
Datos	Estacion	Área (km²)	Porcentajes de % Área	Prec Media Anual (mm)	Área * Prec Media Anual
1	Nandaime	232.91	87.23	1539	358448.49
2	Campos Azules	16.29	6.10	1548	25216.92
3	Las Mercedes	17.81	6.67	1414	25177.997
		267.01	100.00	Prec. (mm)	1531.19

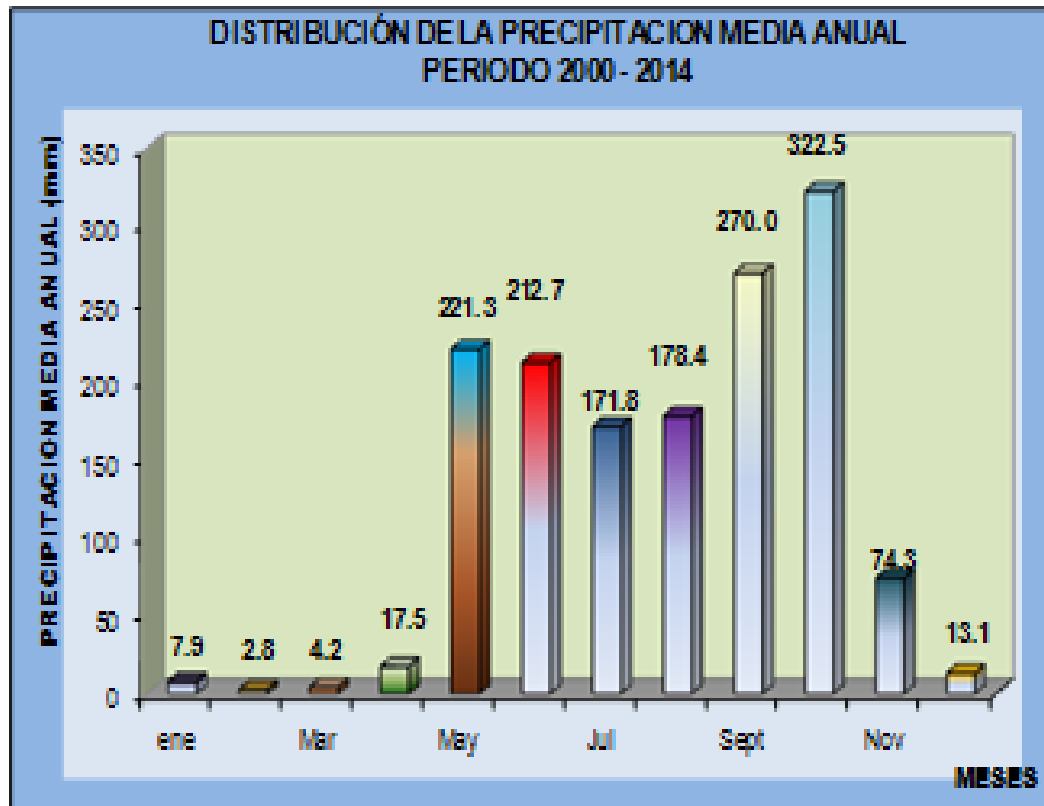
Fuente: Elaboración Propia

En el registro estadístico de datos de las estaciones se identifica el período lluvioso que comprende de mayo a octubre en el que se obtienen un acumulado de 1,376.8 mm representando el 92 % y entre noviembre y abril correspondiente al período seco se obtuvo un valor 119.8 mm significa el 8 % del valor total del registro. (Ver grafica N°1)

En el período comprendido entre mayo y julio se acumulan 605.7 mm y entre agosto – octubre 771.0 mm, evidenciando que en estos meses se concentra el período lluvioso. En los meses julio – agosto se identifica el período canicular que se manifiesta en estos meses y significa una drástica disminución de la precipitación que dura aproximadamente 25 días.

En el período lluvioso, octubre es el que registra el mayor acumulado de lluvia, siendo este de 322.6 mm, seguido de septiembre que registra un acumulado medio anual de 308.2mm.

Gráfico No. 1: Precipitación Media Anual



Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro No. 2 se muestra el registro de los valores medios anuales de precipitación registrada en las estaciones meteorológicas que incide en la subcuenca del río Ochomogo.

Cuadro No. 2: Precipitación Media Mensuales

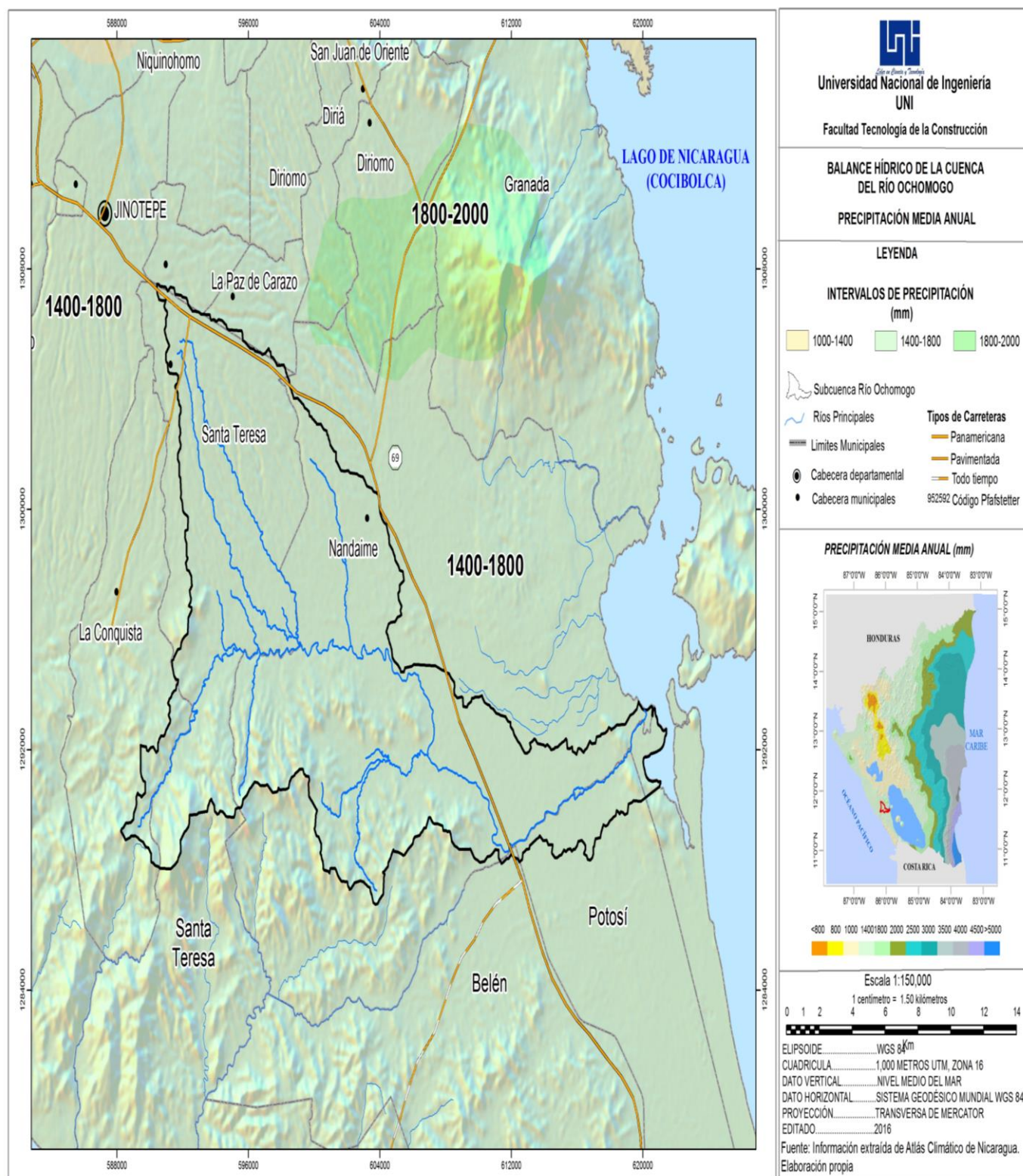
N°	Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	TOTAL ANUAL
1.-	Nandaime	5.0	1.0	4.9	28.2	231.6	206.5	183.6	182.0	269.7	335.7	63.4	8.1	1519.8
2.-	Rivas	7.9	3.9	0.7	3.7	203.1	221.9	162.4	181.8	248.5	314.9	93.6	17.5	1460.0
3.-	Campos Azúles	10.9	3.4	7.0	20.5	229.3	209.6	169.3	171.5	291.9	317.0	66.0	13.6	1509.9
	Premedio Mensual	7.9	2.8	4.2	17.5	221.3	212.7	171.8	178.4	270.0	322.5	74.3	13.1	1496.6

Fuente: Elaboración Propia

En figura No. 2 se muestra el mapa con a ubicación geográfica de los rangos de precipitación en la subcuenca. Se muestra la distribución espacial de la precipitación media anual en la cuenca. La distribución de la precipitación de la Región del Pacífico varía entre 1000 mm a más de 2000 mm; la zona costera de esta región está cubierta por la isoyeta de 1400 mm y por valores superiores a esta; al Sureste del Lago de Nicaragua se presentan núcleos de precipitación mayores a los 2000 mm, en la parte Occidental de esta región (ver figura No. 2).

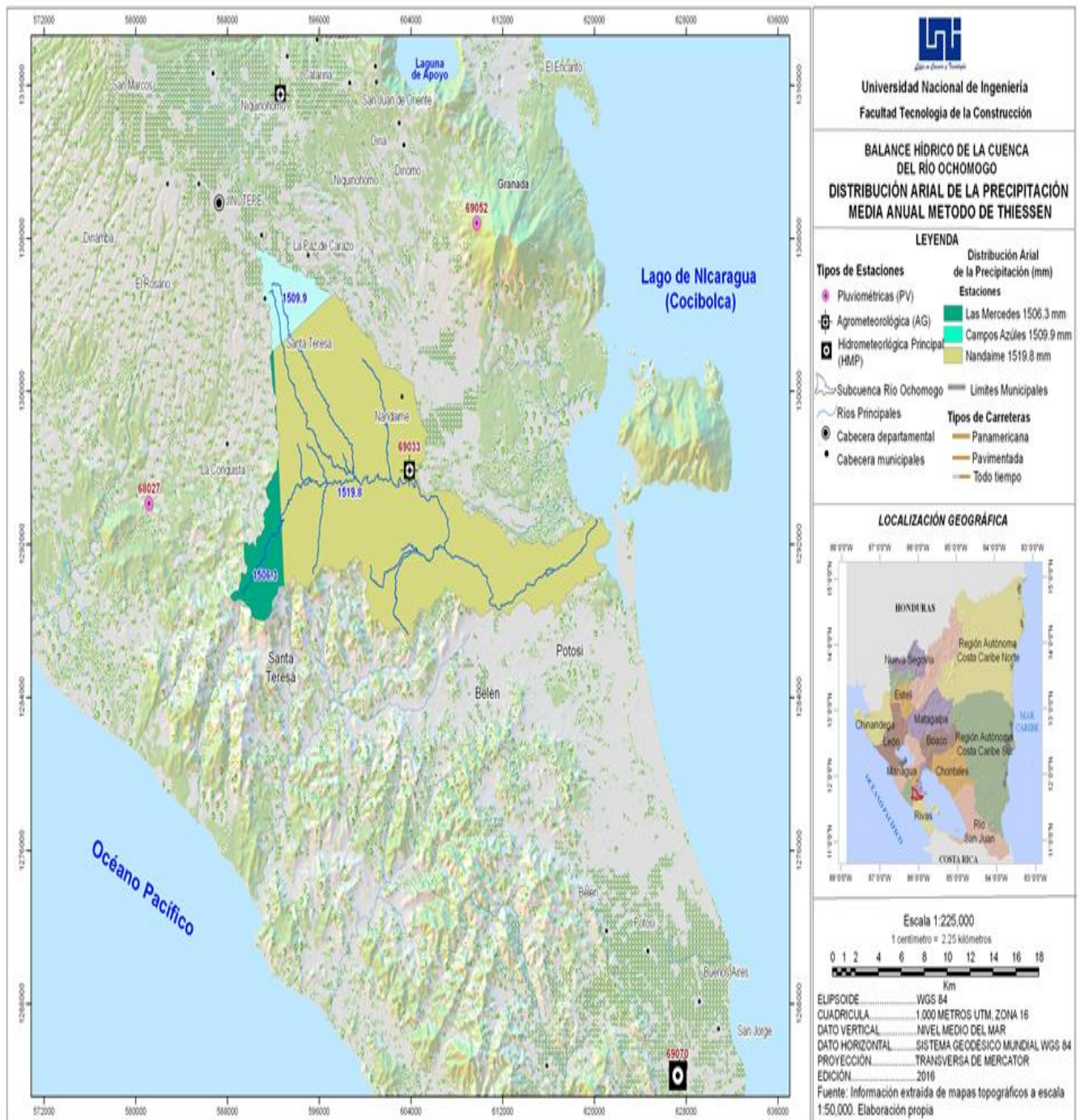
En la figura No. 3 se muestra la distribución arial de la precipitación media anual usando el método d Thiessen.

Figura No. 2 Comportamiento de la Precipitación Media anual



Fuente: Elaboración Propia

Figura No. 3: Distribución arial de la precipitación media anual



Fuente: Elaboración Propia

5.1.2 Temperatura Media Anual

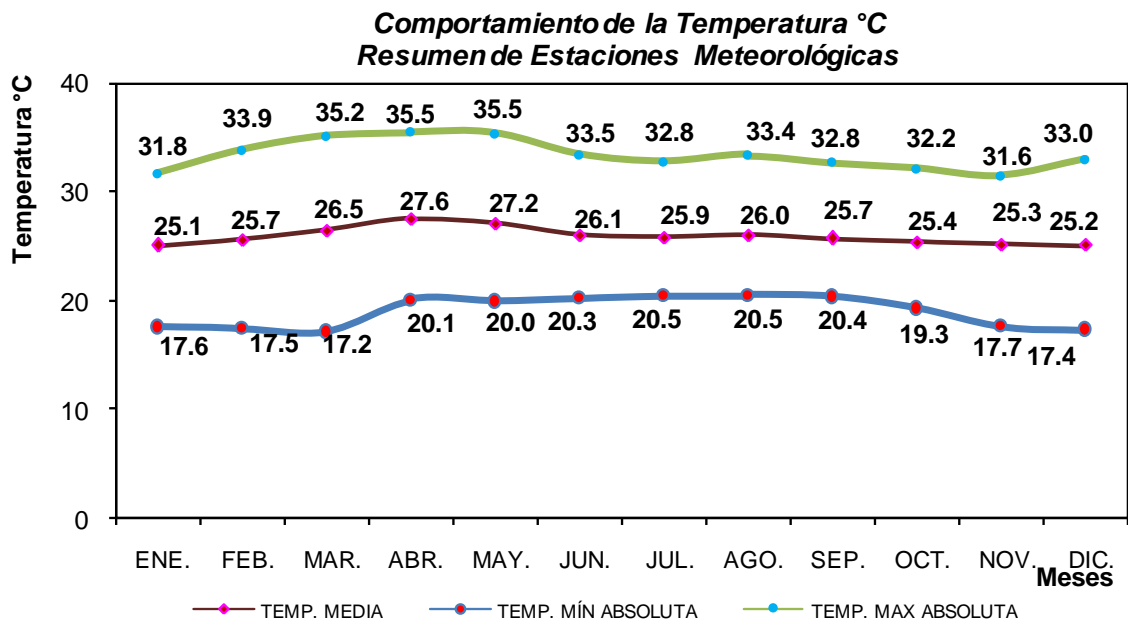
El comportamiento de la temperatura media anual corresponde a los 26.0°C, la cual muestra que dentro de la región se puede observar contrastes significativos, provocados por el efecto del relieve y otras condiciones locales.

En el gráfico No. 2 se muestra las tendencias medias mensuales, mínimas y máximas absolutas de la temperatura, tomando como referencia las estaciones principales ubicadas en la cuenca.

Los rangos de temperaturas medias mínimas y máximas absolutas oscilan en rangos que predominan de 17.2°C a 35.5°C. Los valores medios mensuales de las temperaturas más elevadas se registran en los meses de abril y mayo, precisamente a finales del período seco con valores de 27.6 y 27.2°C.

Los valores de las temperaturas medias más bajas, ocurren entre diciembre y enero, con magnitudes que oscilan entre 25.1°C 25.7°C.

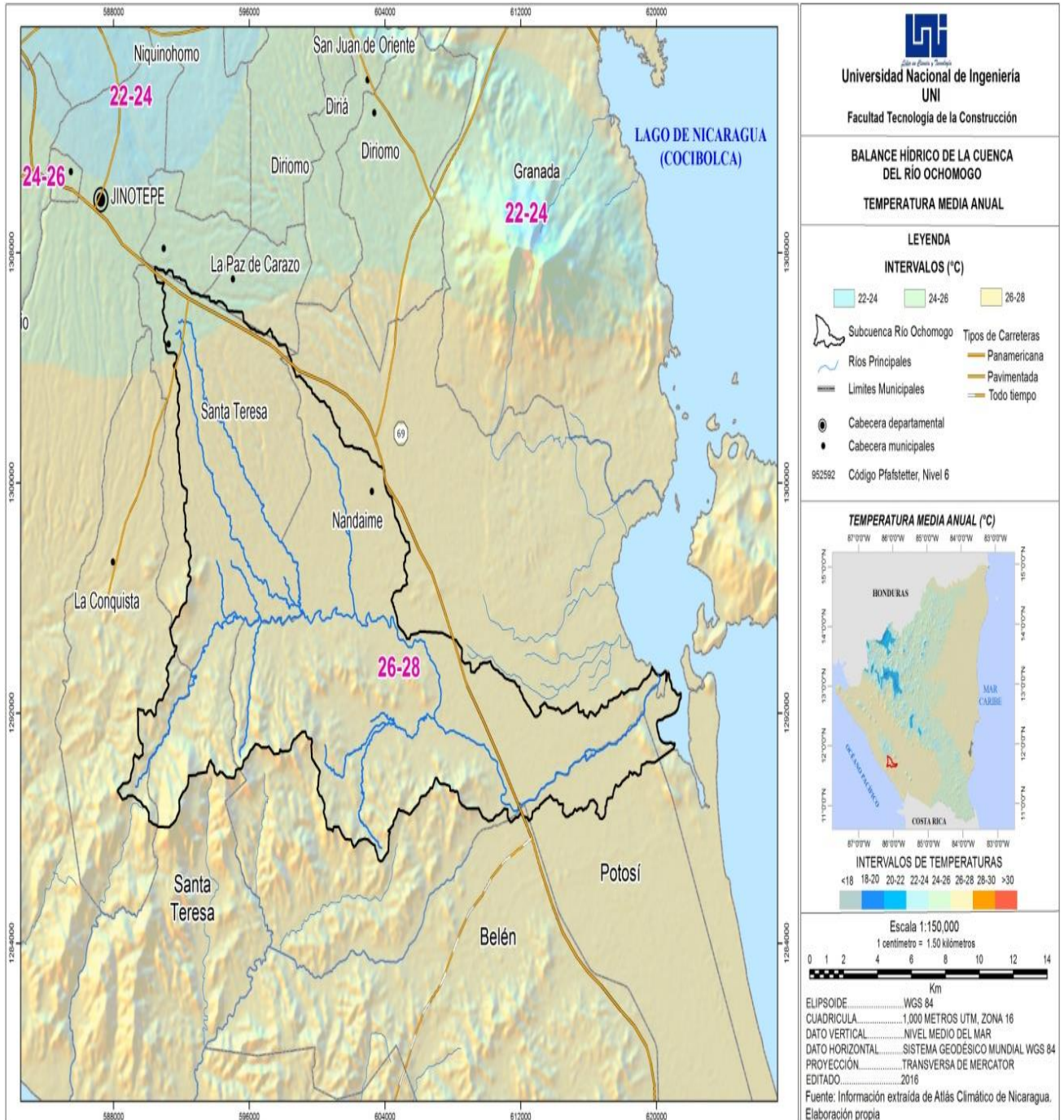
Gráfica No. 2: Temperatura Media, Mínima y Máxima anual



Fuente: Elaboración Propia

En la figura No. 4 se muestra la ubicación espacial de la temperatura media anual, la cual oscila en la zona de la subcuenca entre los 26°C y 28°C.

Figura No. 4: Comportamiento de la Temperatura Media

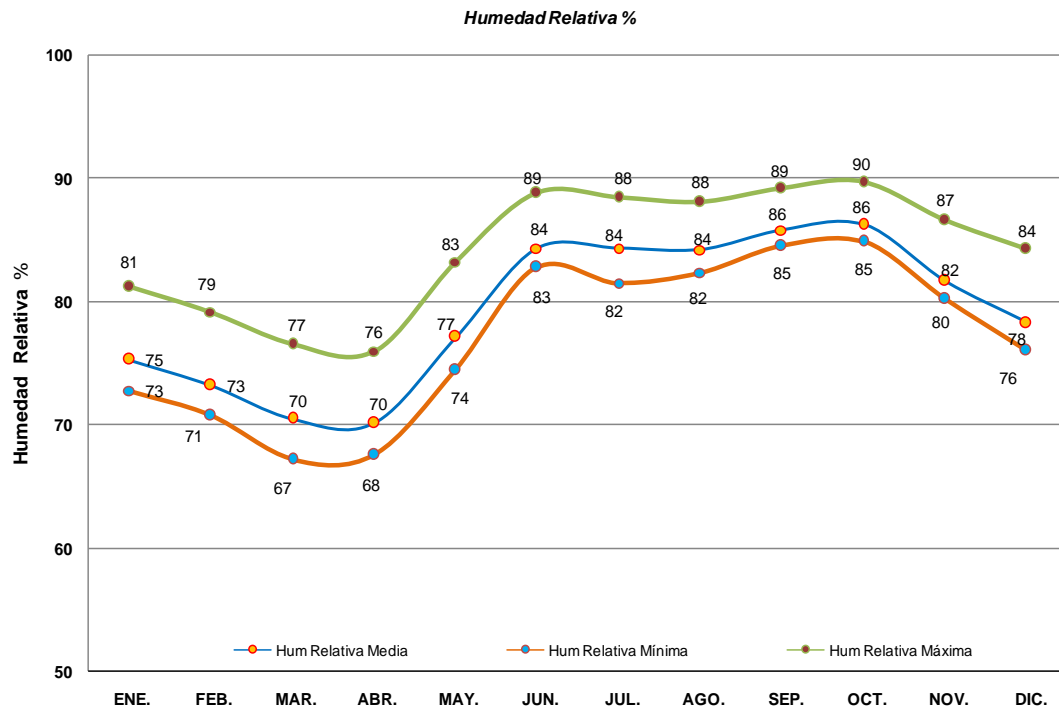


Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Humedad Relativa

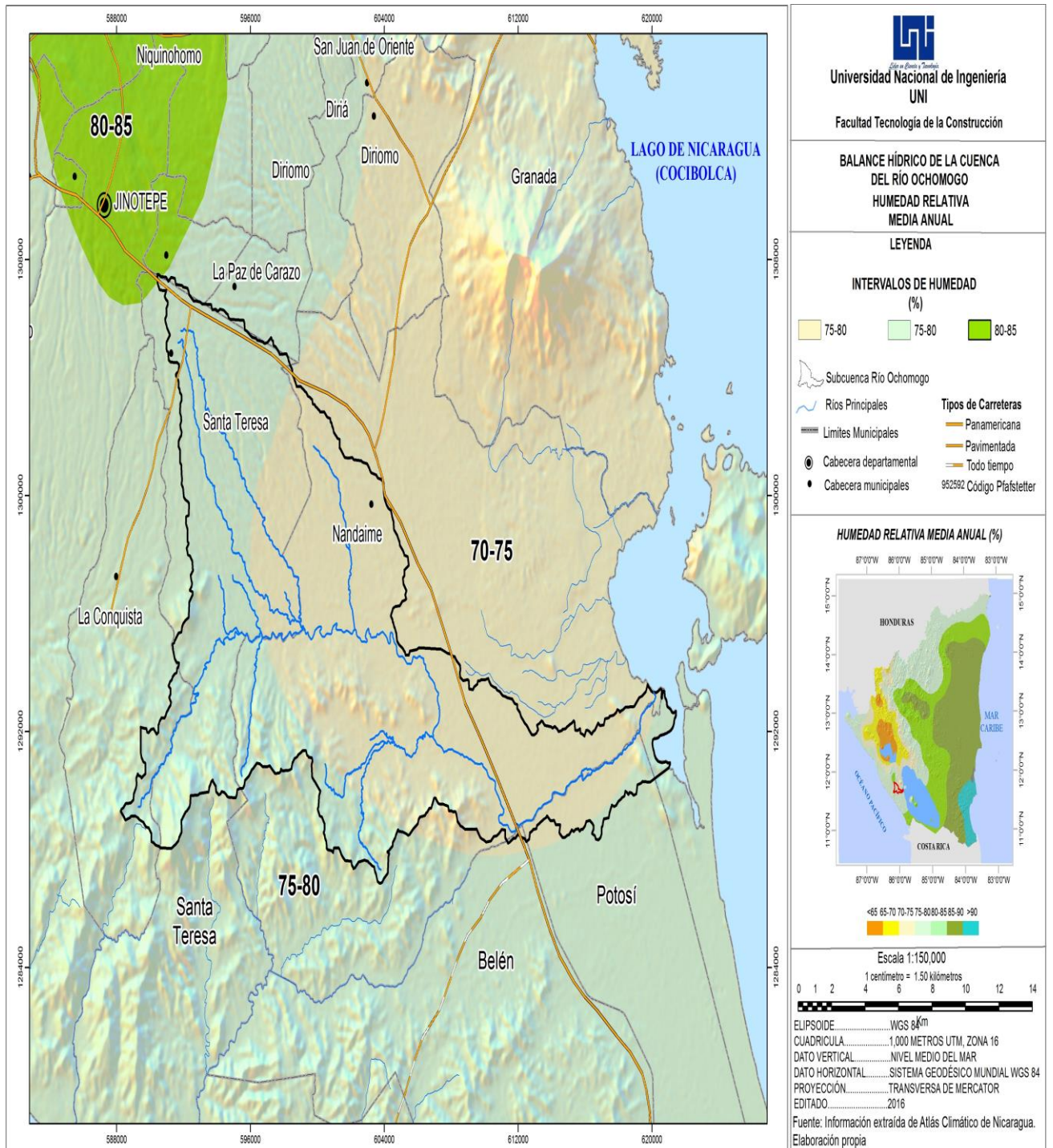
La humedad relativa media anual para el área de estudio es de 79 %, los valores mínimos de la humedad relativa en las diferentes localidades dentro de la unidad de cuenca, tienen lugar en los meses de marzo y abril con 67 y 68 % respectivamente. En el gráfico N° 3 se muestra el comportamiento de la tendencia anual de la humedad relativa media, en los cuales se observa que los valores máximos mensuales se registran en septiembre y octubre, tales valores oscilan entre el 89 y 90 % respectivamente.

Gráfico No. 3: Humedad Relativa



Fuente: Elaboración Propia

Figura No 5: humedad relativa media anual



Fuente: Elaboración propia

En la figura No. 6 se muestra la ubicación espacial de la humedad relativa media anual, la cual oscila en la zona de la subcuenca entre los 70% y 85%, según las estaciones ubicadas en el entorno a la subcuenca.

De acuerdo a la clasificación de Köppen, el clima predominante en la zona en estudio es de Clima Caliente y Sub-húmedo, con lluvia en el periodo seco (AW1), (AW2). Este clima predomina en toda la Región del Pacífico y en mayor parte en la Región Norte.

5.2 Caracterización hidrográfica y morfológica de la subcuenca

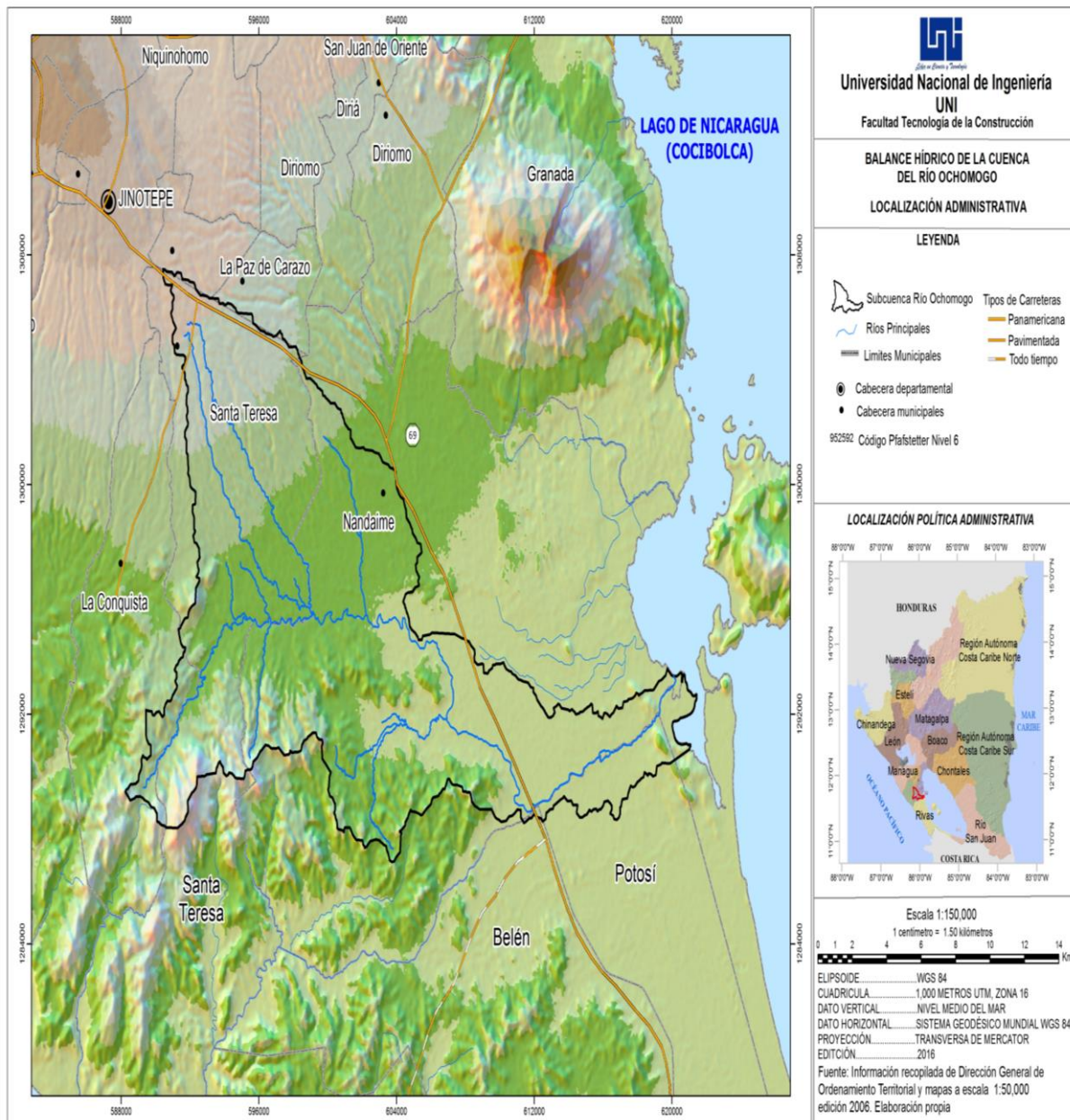
5.2.1 Área y perímetro de la cuenca

El área, el perímetro y otros parámetros morfológicos fueron determinados usando el programa ArcGis y las hojas topográficas 1:50,000 de INETER.

La subcuenca del río Ochomogo tiene una extensión territorial de 267.01 km² y un perímetro de 122.18km; es una unidad tributaria de la cuenca hidrográfica del Río San Juan de Nicaragua con código no. 69 de acuerdo a la codificación que rige para el país, por la nueva delimitación de cuencas hidrográficas mediante la metodología de Pfafstetter tiene el código 952592 en nivel 6.

En la figura No. 6 se observa el tamaño, el perímetro y la forma de la subcuenca.

Figura No. 6: Área de la subcuenca Río Ochomogo



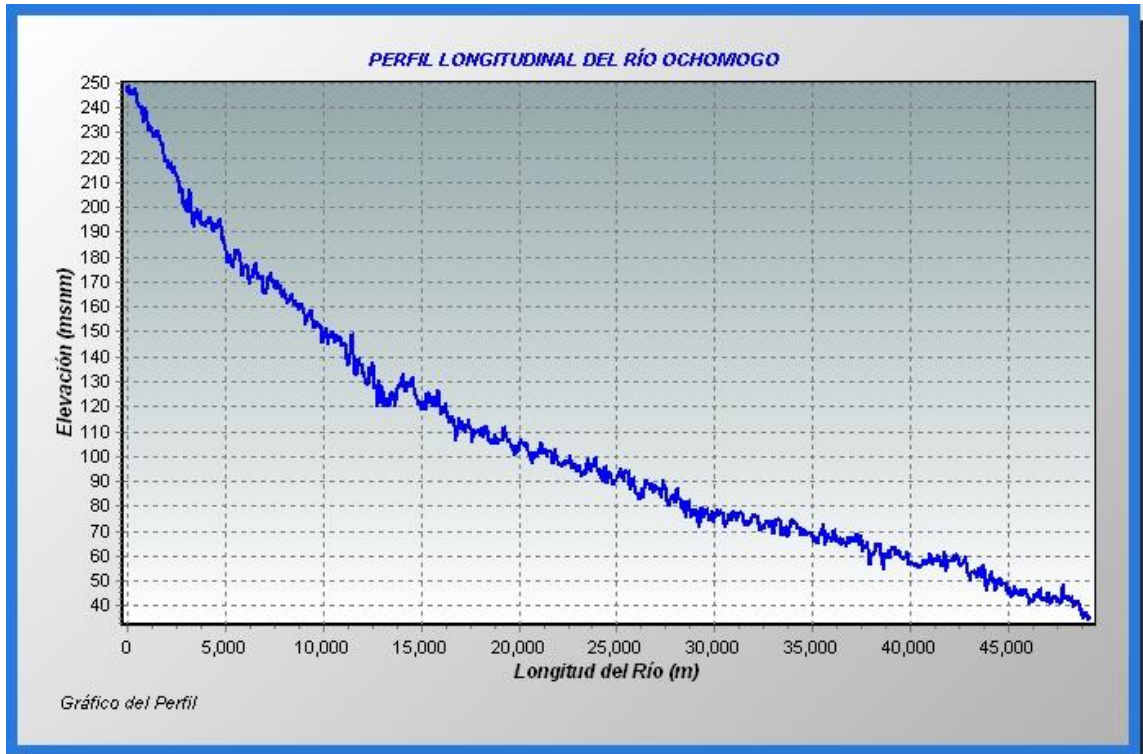
Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Longitud del cauce principal y de los ríos de la cuenca

La longitud del cauce principal del río (L) es de 49.23 km y la Longitud de todos los ríos que comprende la cuenca es **466.91 km**.

En el Gráfico No. 4 se muestra el perfil longitudinal del río principal

Gráfico No. 4: Perfil Longitudinal del río principal



Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Coeficiente de compacidad (Índice de Gravelius)

$$K_c = 0.28 * P / (A)^{0.5}$$

Donde:

K_c = Índice de Gravelius

P = Perímetro de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

$$K_c = 0.28 * 122.18 / (269.01)^{0.5}$$

$$K_c = 2.09$$

El Coeficiente de Compacidad de la subcuenca río Ochomogo es de 2.09, es decir que se clasifica como Oval oblonga a rectangular oblonga. Debido a que el coeficiente de Compacidad está relativamente alejado de la unidad; se afirma que dicha subcuenca no tiene tendencia a concentrar grandes volúmenes de aguas de escurrimiento.

5.2.4 Rectángulo equivalente

Para el cálculo del rectángulo equivalente se utiliza el coeficiente de Gravelius y la superficie de la cuenca mediante la siguiente ecuación:

$$LM = (K_c * \sqrt{A}) / 1.12 [1 + \sqrt{1 - (1.12 / K_c)^2}]$$

$$Lm = (K_c * \sqrt{A}) / 1.12 [1 - \sqrt{1 - (1.12 / K_c)^2}]$$

Donde:

LM= Lado mayor del rectángulo en km

Lm = Lado menor del rectángulo en km

Kc = coeficiente de Gravelius

A= superficie de la cuenca en km²

$$LM = 56.35 \text{ km}$$

$$Lm = 4.74 \text{ km}$$

La transformación geométrica de la cuenca real en una superficie rectangular tienen como de lado mayor de 56.35 km y lado menor de 4.74 km, conservando el mismo perímetro de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo y el mismo Coeficiente de Gravelius.

5.2.5 Factor de forma

El cálculo del Factor Forma se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$Ff = A / (L)^2$$

Donde:

Ff = Factor forma

A = Área de la cuenca (km²)

L = Longitud del río principal

$$Ff = 267.01 / (49.23)^2$$

$$Ff = 0.11$$

La forma de la subcuenca es muy poco achatada por presentar un factor de forma que oscila en valores comprendido de 0.01 y 0.18.

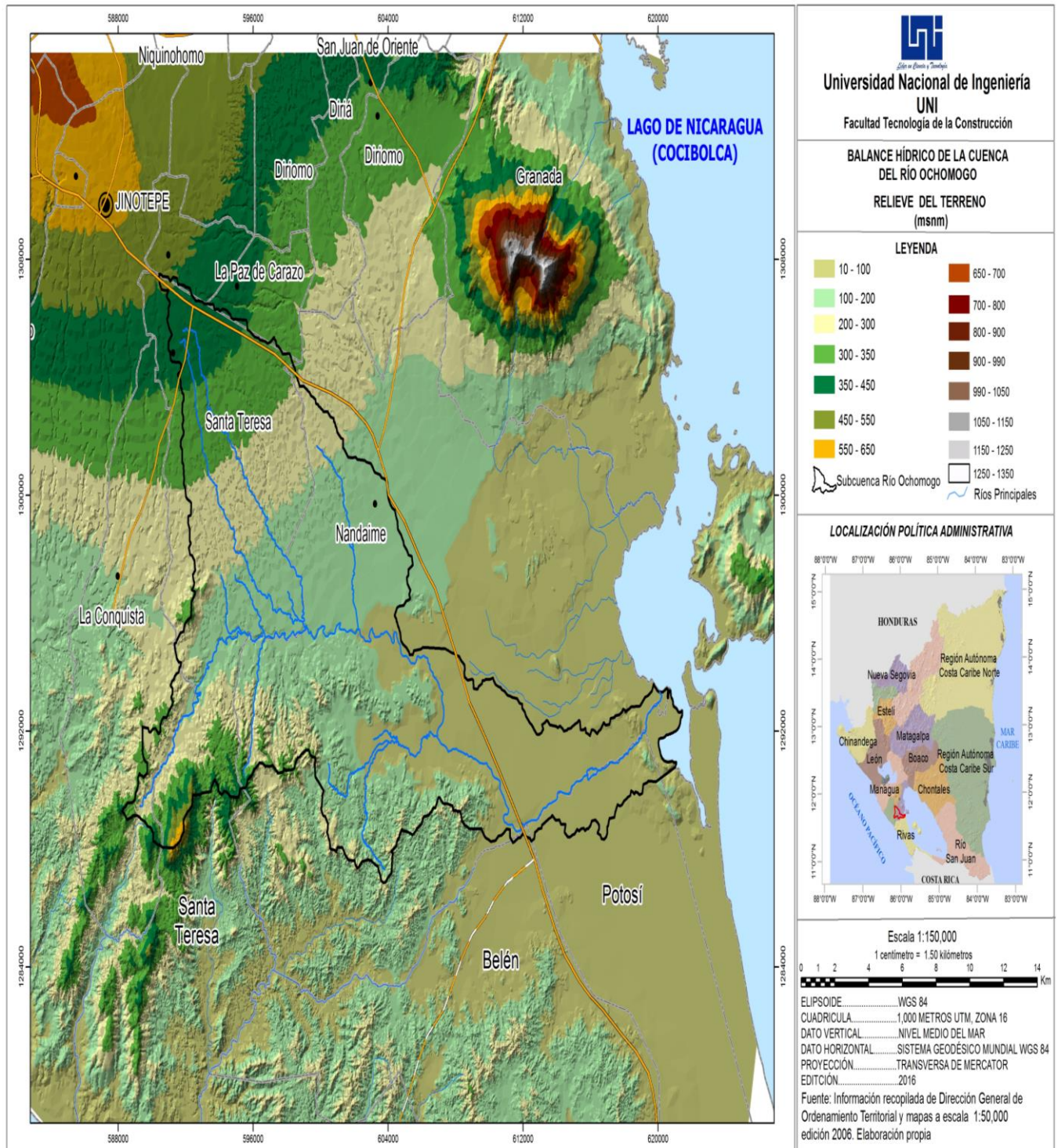
5.2.6 Relieve

El relieve está caracterizado por el predominio de una planicie, la que se evidencia a partir de la cota 450 msnm. En la figura No. 7 se muestra el mapa con los rangos de elevaciones en msnm.

En este mapa se expresa que la parte alta de la subcuenca está conformada por un sistema montañoso de relieve bastante marcado. Los cerros más destacados son el Cerro La Pitilla (609 msnm) y Cerro Ojo de Agua (441 msnm).

De la parte media hacia su desembocadura al Lago de Nicaragua (Cocibolca) se caracteriza por una pronunciada planicie con elevaciones que van desde las 350 hasta las 31.10 msnm.

Figura No. 7: Relieve Predominante de la Subcuenca



Fuente: Elaboración propia

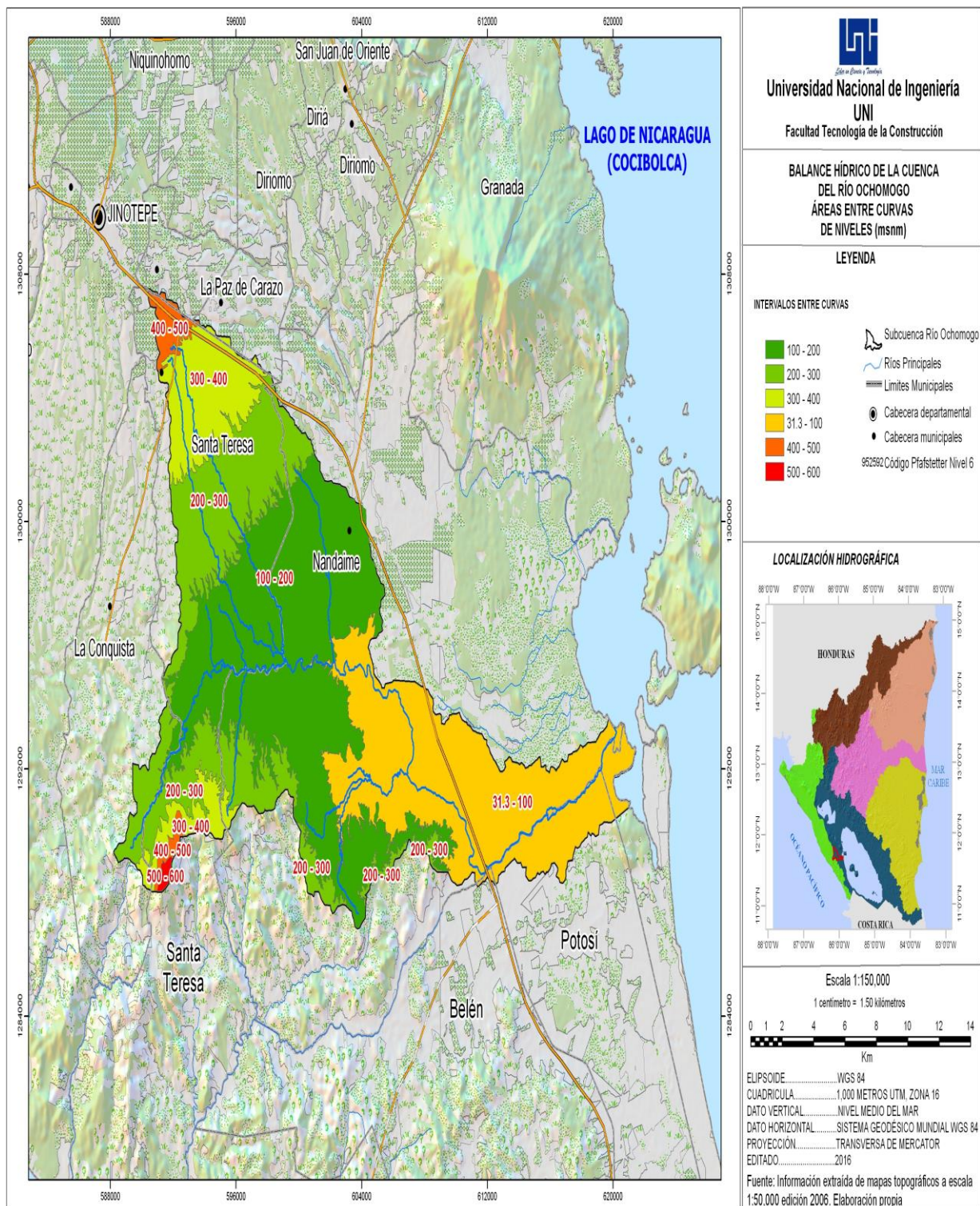
Como resultado de la caracterización del relieve se determinó que el 81 % de la superficie total de la subcuenca se encuentra en rangos de elevaciones que van desde los 31.1 hasta los 300 msnm.

5.1.6 Elevaciones

Las áreas entre curvas principales de nivel fueron obtenidas mediante el uso del programa ArcGis. Así mismo, determinar las áreas entre curvas de niveles permite calcular el coeficiente de compacidad, la pendiente media de la cuenca, la curva hipsométrica y los polígonos de frecuencia.

En la figura No. 8 se muestra la digitalización de las curvas de nivel que se presenta en la subcuenca río Ochomogo; de esta figura se logra determinar que el predominio de las áreas y curvas de niveles se encuentra en los 31.1 a 200 msnm, teniendo un valor de 177.17 km², significando esto el 66 % de superficie total de la unidad hidrográfica. En la cuenca se encuentran elevaciones máximas de 600 y mínimas de 31.1 msnm respectivamente.

Figura No. 8: Intervalos de Áreas entre Curvas de nivel



Fuente: Elaboración propia

5.2.7 Altitud media de la cuenca.

El cálculo de la altitud media de la cuenca se calcula con la siguiente ecuación:

$$E_m = (\sum(H_i * A_i))/A_T$$

En donde:

E_m : Altitud media de la cuenca

H_i : Altura media entre dos curvas de nivel consecutivas

A_i : Superficie entre dos curvas de nivel consecutivo

$M_{media} =$

$$= (100*74.68+200*103.09+300*40.51+400*19.84+500*26.74+600*2.15)/267.01$$

$$M_{media} = 235.33 \text{ msnm}$$

5.2.8 Índice de pendiente

El Índice de pendiente es el valor medio de las pendientes o pendiente media de la cuenca entre curvas de nivel consecutivas y está dado por la siguiente ecuación:

$$I_p = (1/\sqrt{L}) * \sum \sqrt{(\Delta H * B)}/1000$$

En donde:

I_p : Índice de pendiente

L : Lado mayor del rectángulo equivalente (m)

ΔH : Diferencia de altura entre dos curvas de nivel consecutivas (m)

B : Tanto por ciento de la superficie comprendida entre dos curvas de nivel consecutivo, respecto a la superficie total de la cuenca. En el cuadro No. 3 se muestra el cálculo del índice de pendiente, las altitudes y las áreas entre dos curvas consecutivas en la unidad de cuenca.

Cuadro No. 3: Índice de pendiente, altitudes y áreas

Altitud m	Area Ai km ²	Ai acum km ²	AT-Ai km ²	Bi=Ai/AT %	AT-Bi %	Ai/Lm	Ip
1	2	3	4	5	6	7	8
100	74.68	74.68	267.01	27.97	100.00	15.76	0.022
200	103.09	177.77	163.92	38.61	61.39	21.76	0.026
300	40.51	218.28	123.41	15.17	46.22	8.55	0.016
400	19.84	238.12	103.57	7.43	38.79	4.19	0.011
500	26.74	264.86	76.83	10.01	28.77	5.64	0.013
600	2.15	267.01	74.68	0.81	27.97	0.45	0.004
Totales	267.01			100			0.093

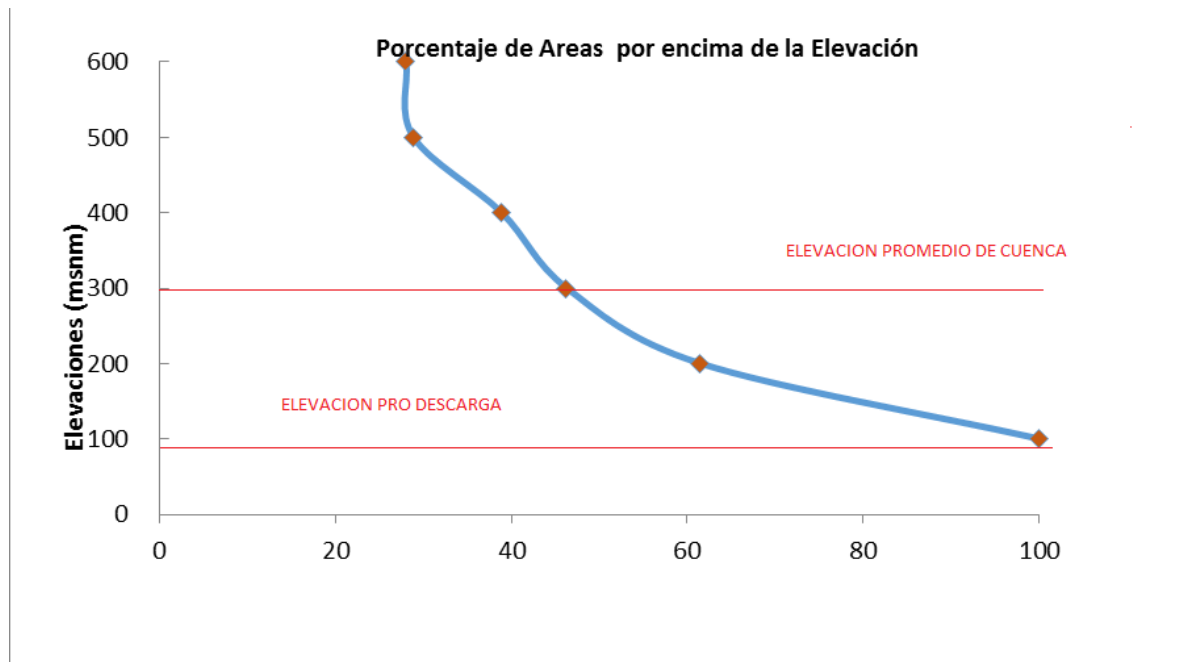
Fuente: Elaboración propia

Según los cálculos la pendiente media de la subcuenca Ip es de 0.093 m (9.3%).

5.2.9 Curva hipsométrica

En el gráfico No. 5 de la Curva Hipsométrica se observa que entre las altitudes de 600 msnm y 200 msnm la curva se presenta en general cóncava hacia arriba. Entre las altitudes de 200 msnm y 100 msnm la curva presenta un equilibrio que refleja un relieve natural más homogéneo.

Gráfico No. 5: Curva Hipsométrica

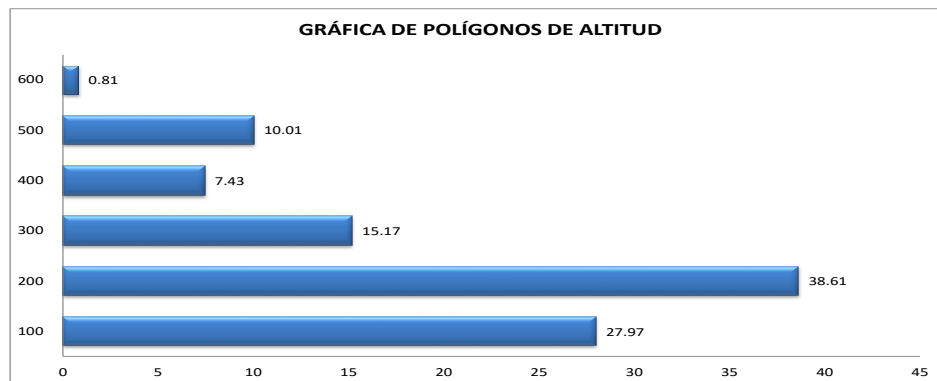


Fuente: Elaboración propia

5.2.10 Polígonos de frecuencia de altitudes

En el gráfico No. 6 se puede apreciar que la mayoría del área de la subcuenca rio Ochomogo se encuentra en su parte media es decir entre las elevaciones 100 y 200 con el 67 % del área parcial de la subcuenca.

Gráfico No. 6: Polígonos de frecuencias de altitudes



Fuente: Elaboración propia

5.2.11 Densidad de drenaje.

La red de drenaje del río en estudio está constituida por corrientes efímeras e intermitentes, el total de longitud de toda la red de drenaje (L_i) es de **466.91 km**.

$$D_d = L_i / A$$

Donde:

D_d = Densidad de drenaje (km / km²)

L_i = Longitud de todos los ríos que comprende la cuenca (km)

A = Área de drenaje de la cuenca (km²)

$$D_d = 466.91 \text{ km} / 267.01$$

$$\mathbf{D_d = 1.75}$$

La densidad de drenaje es de 1.75 km/km², este valor se interpreta que existen 1.75 km de cursos o tramos de cursos de agua por cada km² de la subcuenca; lo que implica que la velocidad de respuesta del escurrimiento superficial es relativamente baja (respuesta hidrológica lenta).

5.2.12 Numero de escurrimiento.

El número de escurrimiento se obtiene con la siguiente ecuación.

$$E_s = \frac{\text{Area (Km}^2\text{)}}{4 * L_i (\text{Km})}$$

Donde:

A = Área de drenaje de la cuenca (km²)

L_i = Longitud de todos los ríos que comprende la cuenca (km)

Los valores de escurrimiento se han agrupado en la siguiente tabla.

$$E_s = \frac{267.01 (\text{Km}^2)}{4 * 466.91 (\text{Km})}$$

$$Es = 0.14$$

El total de afluentes existentes es de 466.91, lo que caracteriza el escurrimiento de la subcuenca como alto, el cual proporciona un buen drenaje de la subcuenca y por lo tanto favorece al escurrimiento de la misma

1.2.13 Pendiente media del río principal.

El cálculo de la pendiente media del río principal se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Ic = \Delta H/L$$

Donde:

S: Pendiente media del cauce

ΔH : Desnivel entre los puntos más alto y más bajo del cauce (Hmax-Hmin)

L: Longitud del cauce principal.

$$Ic = (428.00 - 31.10) / (49.23 \times 1000)$$

$$Ic = 0.81\%$$

En la subcuenca el río principal presenta un pendiente media de 0.0081m/m (0.81 %) es decir una pendiente suave, lo que indica un menor desplazamiento del agua.

5.2.14 Indice de alargamiento

El índice de alargamiento se calcula con la fórmula siguiente:

$$Ia = (\text{Longitud máxima de la cuenca}) / (\text{ancho máximo de la cuenca})$$

$$Ia = 33.36 \text{ km} / 16.48 \text{ km}$$

$$Ia = 2.02$$

De acuerdo al valor de rangos de índices de alargamiento es Moderadamente alargada

5.2.15 Tiempo de concentración

De acuerdo con investigaciones hechas bajo el Programa Hidrometeorológico Centroamericano (PHCA, 1975) el método recomendado para el cálculo del Tc es el siguiente:

$$T_c = 0.0041 \times K_t^{0.77}$$

$$K_t = 3.28 \times (L/S^{0.5})$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal en m

Tc= tiempo de Concentración en minutos.

S= pendiente del río principal

$$T_c = ((0.0041 \times (3.28 \times (49.23 \times 1000) / ((428-31.10)/(49.23 \times 1000))^{0.5})^{0.77}) / 60$$

$$T_c = (0.0041 \times (3.28 \times (49230 / (396.9 / 49230)^{0.5})^{0.77}) / 60$$

$$T_c = (0.0041 \times (3.28 (49230 / 0.09))^{0.77}) / 60$$

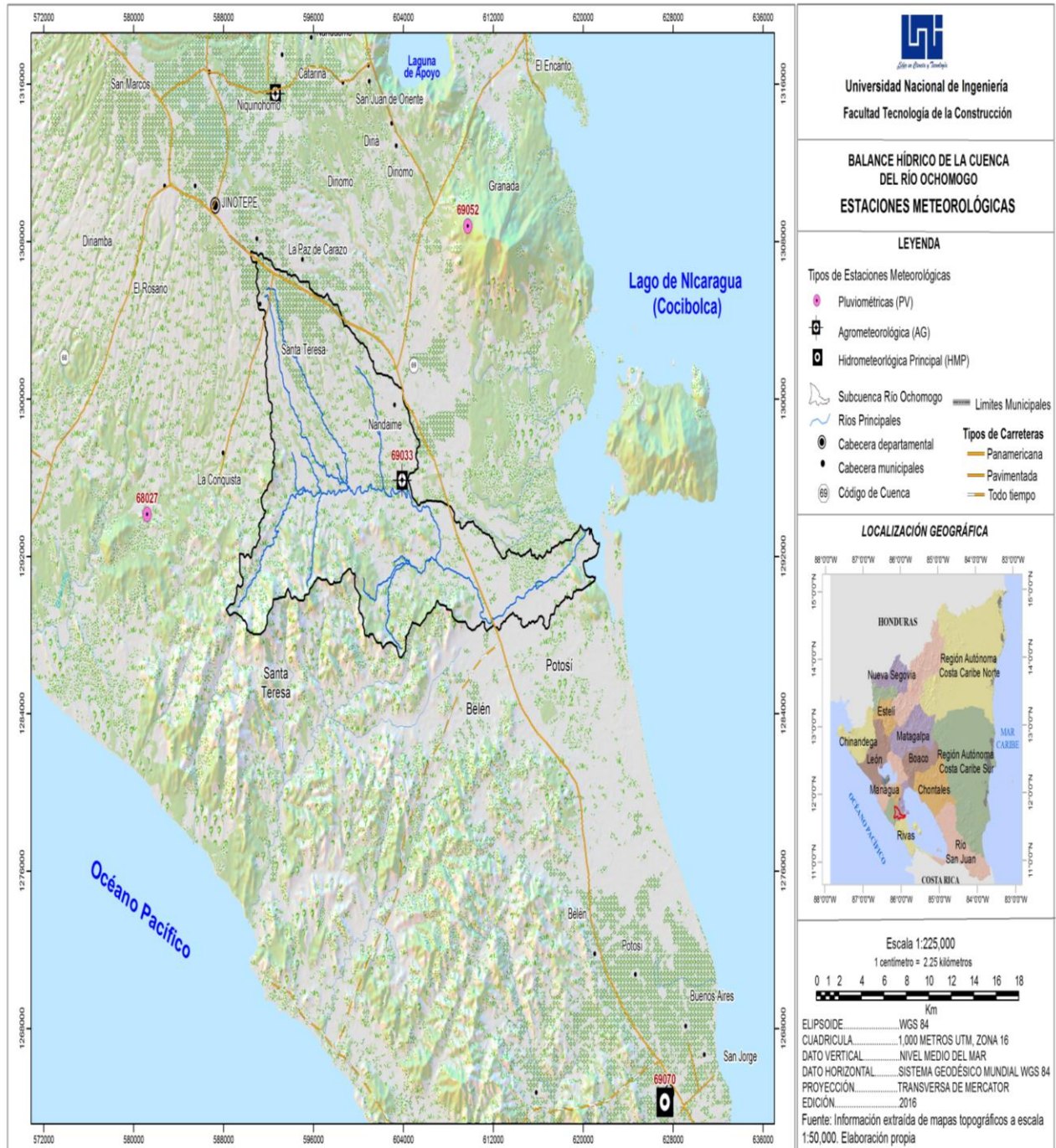
Tc = 4.48 hrs. (268.59 minutos)

El tiempo de concentración de la subcuenca río es de 4.48 hrs. (268.59 minutos), por lo tanto es lento, asociándose este parámetro a la pendiente media del cauce y la longitud del cauce principal.

5.3. Balance Hídrico de la subcuenca

Para esta investigación de la subcuenca del río Ochomogo se seleccionaron las estaciones que se muestran en el cuadro No. 4 y figura No. 11, con sus respectivas ubicaciones. La estación Santa Teresa sale en el volcán Mombacho.

Figura No. 9: Ubicación Geográfica de Estaciones Meteorológicas



Fuente: Elaboración propia

En el modelo del Balance Hídrico superficial utilizado en este estudio se considera como entrada a la cuenca la Precipitación (P) y como salidas a la Evapotranspiración Real (ETR).

5.3.1 La precipitación:

Para esta investigación se consideró un registro histórico de datos del período 2000 al 2014. Esta información sobre diferentes datos climático se encuentra en los anexos. Entre estos datos de registro se encuentra la precipitación de diferentes estaciones meteorológicas. La precipitación utilizada es la promedio de la precipitación media del registro de tres estaciones meteorológicas.

5.3.2 Evapotranspiración Potencial

Para el cálculo de la Evapotranspiración potencial (ETP) se utiliza la fórmula de Thornthwaite. La Evapotranspiración potencial no corregida ETPnc de cada mes está dada por la expresión:

$$ETP_{nc} = \left(\frac{10 * T}{I} \right)^a$$

Donde:

T: temperatura media mensual en °C

I: Índice térmico mensual

$$I = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

El coeficiente **(a)** se expresa de la siguiente forma:

$$a = 6.75 * 10^{-7} * I^3 - 7.71 * 10^{-5} * I^2 + 1.79 * 10^{-2} * I + 0.4923$$

Para obtener los valores corregidos de la Evapotranspiración potencial ETPc se multiplican los valores mensuales ETPnc por un coeficiente de corrección Fc, que tiene en cuenta la latitud, o sea, la duración de la insolación teórica y del número de días de cada mes; para cada mes se tendrá.

$$ETP_c = F_c * ETP_{nc}$$

La Evapotranspiración potencial anual será igual a la suma de los valores mensuales o sea:

$$ETP = \sum_{i=1}^{12} ETP_c$$

En el cuadro No. 6 se muestra los resultados del cálculo de la Evapotranspiración potencial.

Cuadro No. 5: Evapotranspiración potencial

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
T	25.1	25.7	26.5	27.6	27.2	26.1	25.9	26.0	25.7	25.4	25.3	25.2	
i	11.5	11.9	12.5	13.3	13.0	12.2	12.1	12.2	11.9	11.7	11.6	11.6	145.43
ETPm	111	119	135	154	147	127	124	126	120	115	113	112	1502
Fc	0.99	0.91	1.03	1.03	1.09	1.06	1.09	1.07	1.02	1.02	0.97	0.98	
ETP	109	109	139	158	160	135	135	135	123	118	110	109	1539

Fuente: Elaboración propia

5.3.3 Evapotranspiración Real

Para obtener la Evapotranspiración Real (ETR) que servirá para calcular el Balance Hídrico, se establecen ciertas hipótesis basadas en efectuar al balance mes a mes. Las hipótesis son:

a.- Si la precipitación mensual P es superior a ETR y (ΔH) es la humedad disponible, entonces:

$$ETR = ETP$$

$$\Delta H = P - ETR$$

b.- Si la precipitación P es inferior a ETP, la Evapotranspiración Real es la suma de P y de parte o de toda la reserva de agua del suelo suponiendo:

- Si la reserva de humedad del suelo es grande entonces:

$$ETR = ETP$$

Y las reservas del suelo se reducen en:

$$\Delta H = ETP - P$$

- Si la reserva de humedad del suelo es insuficiente para satisfacer la ETP, entonces la ETR será menor a éste e igual a P, más humedad disponible (ΔH), ó será:

$$ETR = P + \Delta H$$

La suma de la ETR mensual será la Evapotranspiración Real anual.

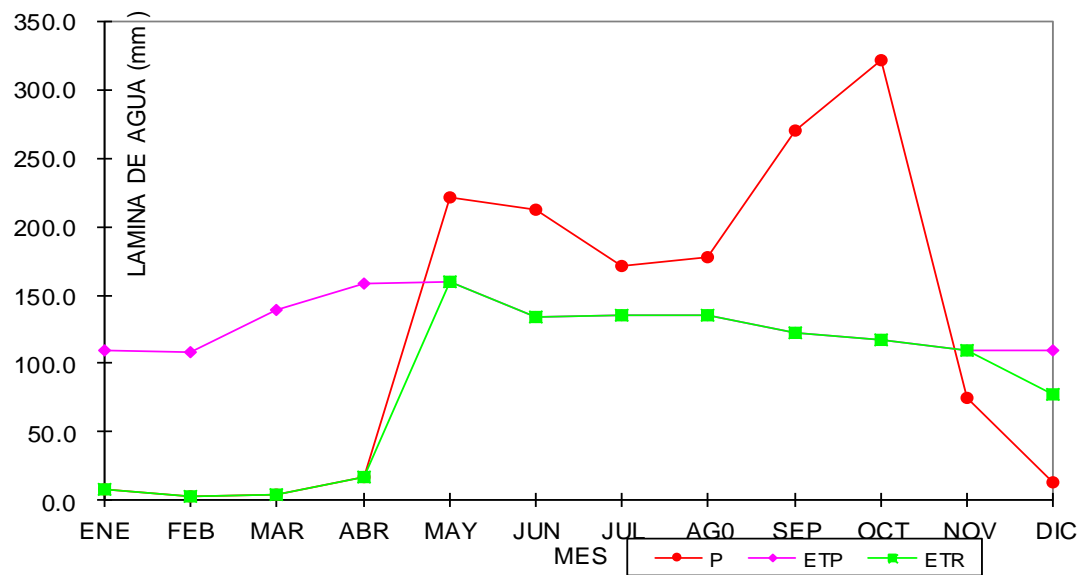
En el cuadro No. 6 y en gráfico 7 y 8 se refleja el comportamiento de la precipitación y evapotranspiración real, mensual y anual. Se puede observar que entre los meses de abril y noviembre existe una restitución o disponibilidad de agua ya que la precipitación es superior a la evapotranspiración real. Mientras que entre los meses de diciembre y abril existe un déficit de agua porque la evapotranspiración real es superior a la precipitación durante ese período.

Cuadro No. 6: Evapotranspiración Real

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
ETP	109	109	139	158	160	135	135	135	123	118	110	109	1539
P	7.9	2.8	4.2	17.5	221.3	212.7	171.8	178.4	270.0	322.5	74.3	13.1	1496.57
P-ETP	-102	-106	-134	-141	61	78	37	44	147	205	-35	-96	-43
ALMA	0	0	0	0	61	100	100	100	100	100	65	0	626
D.ALMA	0	0	0	0	61	39	0	0	0	0	-35	-65	
ETR	8	3	4	17	160	135	135	135	123	118	110	78	1025
EXCESO	0	0	0	0	0	39	37	44	147	205	0	0	472
DEFICIT	102	106	134	141	0	0	0	0	0	0	0	32	514

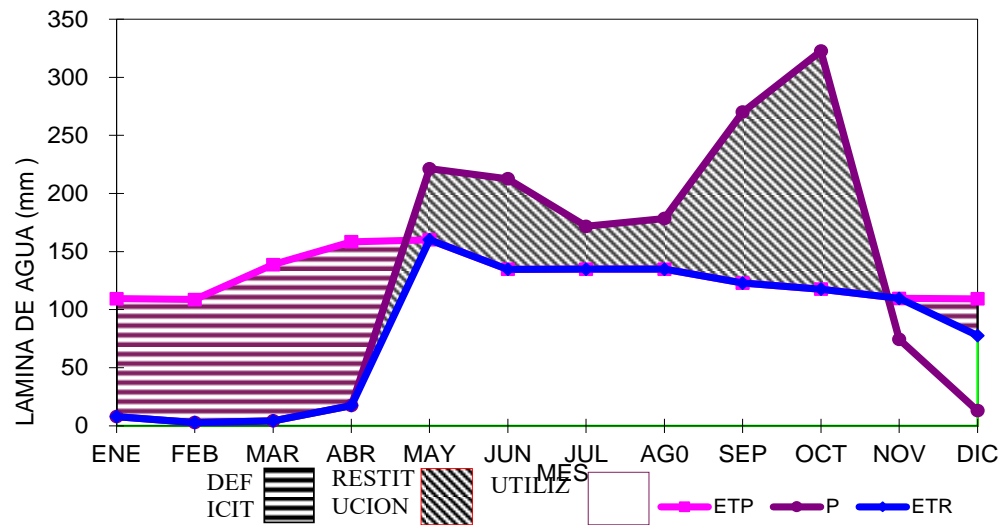
Fuente: Elaboración propia

Gráfico No. 7: Curvas de parámetros del balance hídrico



Fuente: Elaboración propia

Gráfico No. 8: Balance hídrico superficial de la subcuenca Ro Ochomogo



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- ✓ Como resultado de los análisis de la caracterización, se concluye que la unidad hidrológica del Río Ochomogo, tiene un área de 267.01 km² y un perímetro de 122.18km; esto representa el 0.94% del área total de la unidad hidrológica del río San Juan de Nicaragua; está distribuida entre los municipios de Belén, Buenos Aires y Potosí del departamento de Rivas, La Conquista, La Paz de Carazo, Santa Teresa y el Rosario del departamento de Carazo y Nandaime del departamento de Granada.
- ✓ De acuerdo a la clasificación de Köppen, el clima predominante en la zona en estudio es de Clima Caliente y Sub-húmedo, con lluvia en el periodo seco (AW1), (AW2). Este clima predomina en toda la Región del Pacífico y en mayor parte en la Región Norte. Se caracteriza en una marcada estación seca durante seis meses, desde noviembre hasta abril y un período lluvioso que inicia en mayo y finaliza en octubre, con temperaturas medias que oscilan en los 25.1 – 27.6°C; con promedios mínimos y máximos de 17.6 a 36.0 °C. La humedad relativa muestra los mayores valores entre los meses de junio y octubre, de 84% y 86%.
- ✓ La precipitación media anual calculada tomando como referencia los registros de las estaciones hidrometeorológica de Rivas, Nandaime y Campos Azules considerando el período (2000 – 2014). Mediante el método de los polígonos de Thiessen se obtuvo una Precipitación Media Anual de 1,526.16 mm
- ✓ El Tiempo de Concentración fue de 4.48 hrs. (268.59 minutos), por lo tanto es lento, asociándose este parámetro a la pendiente media del cauce y la longitud del cauce principal. La densidad de drenaje es de 1.75 km/km², este valor se interpreta que existen 1.75 km de cursos o tramos de cursos de agua por cada km² de la subcuenca; lo que implica que la velocidad de respuesta del escurrimiento superficial es relativamente baja (respuesta hidrológica lenta).
- ✓ El Coeficiente de Compacidad de la subcuenca río Ochomogo es de 2.09, es decir que se clasifica como Oval oblonga a rectangular oblonga. Debido a que el coeficiente de Compacidad está relativamente alejado de la unidad; se afirma que dicha subcuenca no tiene tendencia a concentrar grandes volúmenes de aguas de escurrimiento.

- ✓ El relieve de la subcuenca está caracterizado por el predominio de una planicie, la que se evidencia a partir de la cota 450 msnm. La parte alta está conformada por un sistema montañoso de relieve bastante marcado. Según los cálculos la pendiente media de la subcuenca es de 0.093 m (9.3%).
- ✓ Según los datos estadísticos climatológico de la zona de estudio la evapotranspiración potencial anual calculada es de 1539mm y la evapotranspiración real de 1039mmm.
- ✓ Según el cálculo del balance hídrico existe un déficit entre los meses de noviembre y abril y un exceso entre los meses de mayo y octubre.

6.2 Recomendaciones

- ✓ Para garantizar datos estadísticos más consistentes de los parámetros climáticos se recomienda instalar más estaciones meteorológicas dentro de la unidad de cuenca del Río Ochomogo.
- ✓ Se recomienda que el personal que maneja y/o trabaja en las estaciones meteorológicas cuente con la formación técnica adecuada para garantizar la calidad de los datos estadísticos.
- ✓ La alcaldía y las comunidades en conjunto con los demás actores que tienen presencia e incidencia en la zona de la unidad de cuenca deberán elaborar un plan de manejo del recurso hídrico, y un plan ambiental integral para garantizar el aprovechamiento sostenible del mismo.
- ✓ Se debe implementar a lo inmediato un plan de reforestación, donde sean priorizados las zonas de manantiales y la parte alta de la cuenca.
- ✓ Se debe establecer un monitoreo detallado y sistemático sobre la disponibilidad del recurso hídrico y de las prácticas agropecuarias que se realizan en el área de la unidad de cuenca.

CAPITULO VII: BIBLIOGRAFIA

Ven Te Chow, David R. Maidment y Larry W, Mays. Hidrología aplicada. McGRAW-HILL, INC. Colombia. 1996.

UNESCO. Instituto de Hidrología de España. Método de Cálculo del Balance Hídrico, Madrid España. 1981.

Instituto México de Tecnología del Agua, IMTA. Balance Hídrico en la Cuenca de Mexica. Coordinación de Tecnología Hidrológica, Sub coordinación de Hidrología y Mecánica de Ríos, México. 2003.

Duque C. Robert. A. Precipitación formación, medición y análisis de datos

CIDIAT, Mérida, Venezuela. 1985.

Naciones Unidad, Programa Para el Desarrollo Organización Meteorológica Mundial, Manual de Instrucciones de Hidrometría, publicación número 49, San José-Costa Rica. 1969.

UNESCO. Primer Taller Sobre Balance Hídrico del Istmo Centroamericano y México. 1998.

OLADE, INCLAM. Vulnerabilidad al Cambio Climático de los Sistemas de Producción Hidroeléctrico en Centroamérica y sus Opciones de Adaptación, Componente 5, San José, Costa Rica. 2012.

Océano. Atlas Geográfico Universal y de Nicaragua. 2001.

Máximo Villón Béjar. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Hidrología Estadística, Cartago Costa Rica. 2001.

Linsley Kohler Paulus. Hidrología para ingenieros. 1988.